

3

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-168414

(43)Date of publication of application : 22.06.2001

(51)Int.Cl.

H01L 43/08
G01R 33/09
G11B 5/39
H01F 10/32

(21)Application number : 11-345433

(71)Applicant : ALPS ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 03.12.1999

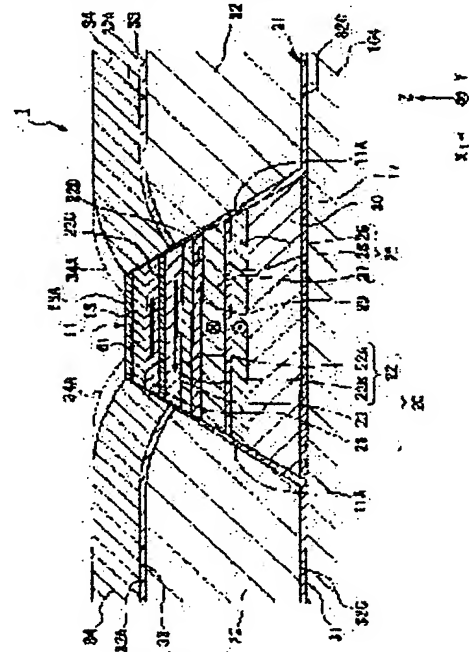
(72)Inventor : TANAKA KENICHI
SAITO MASAJI
IDE YOSUKE
HASEGAWA NAOYA
KAKIHARA YOSHIHIKO
HONDA KENJI

(54) SPIN-VALVE TYPE THIN-FILM MAGNETIC ELEMENT AND THIN-FILM MAGNETIC HEAD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a spin-valve type thin-film magnetic element, which indicates a large magnetic resistance change ratio and is superior in sensitivity of an external magnetic field.

SOLUTION: This adopted spin-valve type thin-film magnetic element 1 comprises a laminate 11, in which there are laminated an antiferromagnetic layer 30, a fixing magnetic layer 25 which comes into contact with the antiferromagnetic layer 30 and fixes the magnetization direction by an exchange bond magnetic field with the antiferromagnetic layer 30, a nonmagnetic conductive layer 29 coming into contact with the fixing magnetic layer 25, a second free magnetic layer 22 coming into contact with the nonmagnetic conductive layer 29, a nonmagnetic intermediate layer 23 which comes into contact with the second free magnetic layer 22, a first free magnetic layer 21 which comes into contact with the nonmagnetic intermediate layer 23, bonds the second free magnetic layer 22 in an antimagnetic manner, and forms a ferri magnetic state, together with the second free magnetic layer 22, and a backed layer 61 which comes into contact with the first free magnetic layer 21 and is higher in conductivity than the first free magnetic layer 21.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 22.11.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-168414

(P2001-168414A)

(43) 公開日 平成13年6月22日 (2001.6.22)

(51) IntCl.⁷

識別記号

F I

テ-マ-ト* (参考)

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z 2 G 0 1 7

G 0 1 R 33/09

G 1 1 B 5/39

5 D 0 3 4

G 1 1 B 5/39

H 0 1 F 10/32

5 E 0 4 9

H 0 1 F 10/32

G 0 1 R 33/06

R

審査請求 有 請求項の数10 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号

特願平11-345433

(22) 出願日

平成11年12月3日 (1999.12.3)

(71) 出願人 000010098

アルプス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72) 発明者 田中 健一

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(72) 発明者 斎藤 正路

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外7名)

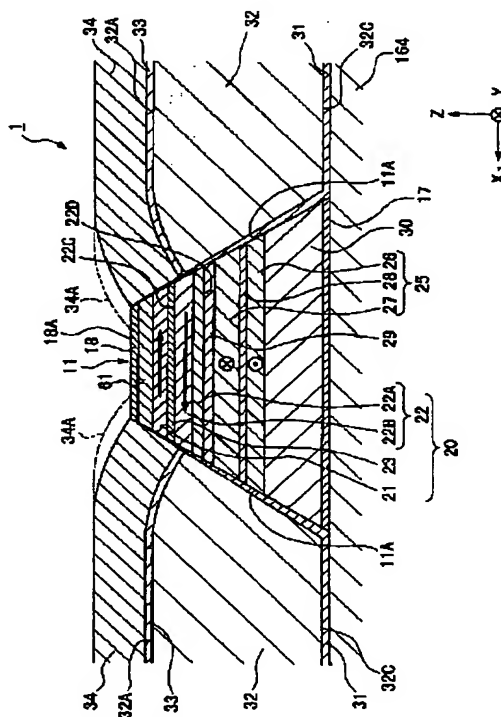
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スピンバルブ型薄膜磁気素子及び薄膜磁気ヘッド

(57) 【要約】

【課題】 大きな磁気抵抗変化率を示し、外部磁界の感度が良好なスピンバルブ型薄膜磁気素子を提供する。

【解決手段】 反強磁性層30と、反強磁性層30に接して反強磁性層30との交換結合磁界により磁化方向が固定された固定磁性層25と、固定磁性層25に接する非磁性導電層29と、非磁性導電層29に接する第2フリー磁性層22と、第2フリー磁性層22に接する非磁性中間層23と、非磁性中間層23に接するとともに第2フリー磁性層22と反強磁性的に結合して、第2フリー磁性層22とともにフェリ磁性状態を形成する第1フリー磁性層21と、第1フリー磁性層21に接して第1フリー磁性層21よりも導電性が高いバック層61とが積層されてなる積層体11を備えたスピンバルブ型薄膜磁気素子1を採用する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 反強磁性層と、該反強磁性層に接して前記反強磁性層との交換結合磁界により磁化方向が固定された固定磁性層と、該固定磁性層に接する非磁性導電層と、該非磁性導電層に接する第 2 フリー磁性層と、該第 2 フリー磁性層に接する非磁性中間層と、該非磁性中間層に接するとともに前記第 2 フリー磁性層と反強磁性的に結合して、該第 2 フリー磁性層とともにフェリ磁性状態を形成する第 1 フリー磁性層と、該第 1 フリー磁性層に接して前記第 1 フリー磁性層よりも導電性が高いバックド層とが積層されてなる積層体を備えたことを特徴とするスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項 2】 前記非磁性導電層に接する前記第 2 フリー磁性層の厚さを、前記第 1 フリー磁性層の厚さより大きくしてなることを特徴とする請求項 1 に記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項 3】 前記非磁性導電層側に接する前記第 2 フリー磁性層の飽和磁化及び厚さをそれぞれ M_2 、 t_2 とし、前記第 1 フリー磁性層の飽和磁化及び厚さをそれぞれ M_1 、 t_1 としたときに、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ となるように構成されてなることを特徴とする請求項 1 に記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項 4】 前記バックド層の、前記第 1 フリー磁性層と接する面の反対側に、前記バックド層に対して非固溶な遷移金属からなる保護層が配置されたことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 のいずれかに記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項 5】 前記バックド層の、前記第 1 フリー磁性層と接する面の反対側に、絶縁材料からなる鏡面反射層が配置されたことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 のいずれかに記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項 6】 前記積層体の両側面側に、前記第 2 フリー磁性層の磁化方向を揃える一対のバイアス層が前記第 2 フリー磁性層に隣接して設けられ、該バイアス層の厚さ方向を区画する 2 つの面のうちの一面が、前記積層体の側面であって前記第 2 フリー磁性層の厚さ方向を区画する 2 つの面の間のいずれかの階層位置に突き合わされるとともに、前記バイアス層の厚さ方向を区画する 2 つの面のうちの他面が、前記積層体の側面であって少なくとも前記第 2 フリー磁性層よりも前記非磁性導電層側の階層位置に突き合わされていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 5 のいずれかに記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項 7】 前記積層体の両側であって前記一対のバイアス層上に、前記積層体に検出電流を与える一対の導電層が積層されていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 6 のいずれかに記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項 8】 前記一対の導電層は、前記積層体の両側から前記積層体の厚さ方向を区画する 2 面のうちの

面の中央に向けてこの積層体の表面に延出して被着形成されていることを特徴とする請求項 7 に記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項 9】 前記固定磁性層が、非磁性層と、該非磁性層を挟む第 1、第 2 固定磁性層とからなり、該第 1、第 2 固定磁性層の磁化方向が反平行方向とされ、かつこの第 1、第 2 固定磁性層がフェリ磁性状態とされていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 8 のいずれかに記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項 10】 請求項 1 ないし請求項 9 のいずれかに記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子を具備してなることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、スピナバルブ型薄膜磁気素子及び薄膜磁気ヘッドに関するものであり、特に、磁気抵抗変化率を大きくすることが可能なスピナバルブ型薄膜磁気素子及び薄膜磁気ヘッドに関するものである。

【0002】

【従来の技術】磁気抵抗効果型の磁気ヘッドには、磁気抵抗効果を示す素子を備えた MR (Magnetoresistive) ヘッドと巨大磁気抵抗効果を示す素子を備えた GMR (Giant Magnetoresistive) ヘッドとがある。MR ヘッドにおいては、磁気抵抗効果を示す素子が磁性体からなる単層構造とされている。一方、GMR ヘッドにおいては、磁気抵抗効果を示す素子が複数の材料が積層されてなる多層構造とされている。巨大磁気抵抗効果を生み出す構造にはいくつかの種類があるが、比較的構造が単純で、外部磁界に対して抵抗変化率が高いものとしてスピナバルブ型薄膜磁気素子がある。最近では、磁気記録密度の高密度化の要求が一段と高まっており、高記録密度化に対応可能なスピナバルブ型薄膜磁気素子への注目が高まっている。

【0003】そこで、従来のスピナバルブ型薄膜磁気素子を図面を参照して説明する。図 25 に、従来のスピナバルブ型薄膜磁気素子 101 を磁気記録媒体側からみた断面模式図を示し、図 26 にはスピナバルブ型薄膜磁気素子 101 をトラック幅方向から見た断面模式図を示す。

【0004】このスピナバルブ型薄膜磁気素子 101 の上下には、ギャップ層を介してシールド層が形成されており、スピナバルブ型薄膜磁気素子 101、ギャップ層及びシールド層で、再生用の薄膜磁気ヘッドが構成されている。また、前記薄膜磁気ヘッドの上に、記録用のインダクティブヘッドが積層されていてもよい。この薄膜磁気ヘッドは、インダクティブヘッドと共に浮上式スライダのトレーリング側端部などに設けられて薄膜磁気ヘッドを構成し、ハードディスク等の磁気記録媒体の記録磁界を検出するものである。なお、図 25 及び図 26 に

において、図示Z方向は磁気記録媒体の移動方向であり、図示Y方向は磁気記録媒体からの洩れ磁界の方向であり、図示 X_1 方向はスピバルブ型薄膜磁気素子のトラック幅方向である。

【0005】図25及び図26に示すスピバルブ型薄膜磁気素子101は、反強磁性層103、固定磁性層104、非磁性導電層105及びフリー磁性層111が順次積層されてなるボトム型のシングルスピンバルブ型薄膜磁気素子である。図25及び図26において符号100は Al_2O_3 などにより形成された絶縁層を示し、符号102は、絶縁層100上に積層されたTa（タンタル）などからなる下地層を示している。この下地層102の上に反強磁性層103が積層され、反強磁性層103の上に固定磁性層104が積層され、固定磁性層104の上にCuなどにより形成された非磁性導電層105が積層され、非磁性導電層105の上にフリー磁性層111が積層され、フリー磁性層111の上にはTaなどにより形成されたキャップ層120が積層されている。このように、下地層102からキャップ層120までの各層が順次積層されてトラック幅に対応する幅を有する断面視略台形状の積層体121が構成されている。

【0006】固定磁性層104は、例えばNiFe合金等により形成されるもので、反強磁性層103に接して積層されている。固定磁性層104と反強磁性層103との界面では交換結合磁界（交換異方性磁界）が発生し、固定磁性層104の磁化方向が図示Y方向に固定されている。

【0007】フリー磁性層111は、非磁性中間層109と、非磁性中間層109を挟む第1フリー磁性層110と第2フリー磁性層108から構成されている。第1フリー磁性層110は、非磁性中間層109より保護層120側に設けられ、第2フリー磁性層108は、非磁性中間層109より非磁性導電層105側に設けられている。また、第1フリー磁性層110の厚さ t_1 は、第2フリー磁性層108の厚さ t_2 よりも薄くなっている。

【0008】また、第1フリー磁性層110は、NiFe合金等の強磁性材料により形成され、非磁性中間層109は、Ru等の非磁性材料により形成されている。また、第2フリー磁性層108は、拡散防止層106と強磁性層107とから構成されている。拡散防止層106及び強磁性層107はいずれも強磁性材料からなるもので、拡散防止層106は例えばCoから形成され、強磁性層107はNiFe合金から形成されている。なお第1フリー磁性層110と強磁性層107は同一の材料から構成されることが好ましい。拡散防止層106は、強磁性層107と非磁性導電層105との相互拡散を防止するために設けられたものである。

【0009】第1フリー磁性層110及び第2フリー磁性層108は、相互に反強磁性的に結合されている。即

ち、第1フリー磁性層110の磁化方向がバイアス層132、132により図示 X_1 方向に揃えられた場合、第2フリー磁性層108の磁化方向は図示 X_1 方向の反対方向に揃えられる。第1、第2フリー磁性層110、108の膜厚の関係が $t_1 < t_2$ とされていることから、第1フリー磁性層110の磁化が残存した状態となり、フリー磁性層111全体の磁化方向が図示 X_1 方向に揃えられる。このように、第1フリー磁性層110と第2フリー磁性層108は、それぞれの磁化方向が反平行方向となるように反強磁性的に結合され、人工的なフェリ磁性状態（synthetic ferri free; シンセフィックフェリフリー）とされている。これにより、フリー磁性層111の磁化方向と固定磁性層104の磁化方向とが交差する関係となる。

【0010】積層体121の両側には、例えばCoPt（コバルトー白金）合金からなるバイアス層132、132が形成されている。このバイアス層132、132は、第1フリー磁性層110の磁化方向を図示 X_1 方向に揃えさせてフリー磁性層111を単磁区化させ、フリー磁性層111のバルクハウゼンノイズを抑制する。

【0011】なお、符号134、134はCuなどで形成された導電層を示している。また、バイアス層132と絶縁層100との間、及び、バイアス層132と積層体121との間には、例えば非磁性金属であるCrからなるバイアス下地層131が設けられている。更に、バイアス層132と導電層134との間には、例えば非磁性金属であるTa若しくはCrからなる中間層133が設けられている。

【0012】このスピバルブ型薄膜磁気素子101は、ハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界により、図示 X_1 方向に揃えられたフリー磁性層111の磁化方向が変動すると、図示Y方向に固定された固定磁性層104の磁化との関係で電気抵抗が変化し、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0013】またフリー磁性層111は、相互に反強磁性的に結合した第1、第2フリー磁性層110、108から構成されており、フリー磁性層111全体の磁化方向が、僅かな大きさの外部磁界によって変動するので、スピバルブ型薄膜磁気素子101の感度が高くなる。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】上述のスピバルブ型薄膜磁気素子101は、フェリ磁性状態とされた第1、第2フリー磁性層110、108からなるフリー磁性層111を備えており、第2フリー磁性層の厚さを3～4nmとしたときに特に高い磁気抵抗変化率を示すが、スピバルブ型薄膜磁気素子自体の抵抗が大きくなり、再生出力が低下するという問題があった。

【0015】また、今後さらに磁気記録密度の向上が求められることが予想され、より大きな磁気抵抗変化率を

有するスピバルブ型薄膜磁気素子が望まれている。

【0016】本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、より大きな磁気抵抗変化率を示すことが可能なスピバルブ型薄膜磁気素子を提供するとともに、このスピバルブ型薄膜磁気素子を備えて再生出力が大きい薄膜磁気ヘッドを提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明は以下の構成を採用した。

【0018】本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子は、反強磁性層と、該反強磁性層に接して前記反強磁性層との交換結合磁界により磁化方向が固定された固定磁性層と、該固定磁性層に接する非磁性導電層と、該非磁性導電層に接する第2フリー磁性層と、該第2フリー磁性層に接する非磁性中間層と、該非磁性中間層に接するとともに前記第2フリー磁性層と反強磁性的に結合して、該第2フリー磁性層とともにフェリ磁性状態を形成する第1フリー磁性層と、該第1フリー磁性層に接して前記第1フリー磁性層よりも導電性が高いバックド層とが積層されてなる積層体を備えたことを特徴とする。

【0019】前記反強磁性層は、 $X-Mn$ （但し、 X は、 Pt 、 Pd 、 Ru 、 Ir 、 Rh 、 Os のうちから選択される1種の元素を示す。）の式で示される合金または $X'-Pt-Mn$ （ただし、 X' は、 Pd 、 Cr 、 Ni 、 Ru 、 Ir 、 Rh 、 Os 、 Au 、 Ag のうちから選択される1種または2種以上の元素を示す。）の式で示される合金のいずれか一方からなることが好ましい。

【0020】前記バックド層は、 Au 、 Ag 、 Cu のうちのいずれか1種の元素から構成されることが好ましい。また前記バックド層の厚さは、 $0.3 \sim 2.5 \text{ nm}$ の範囲が好ましい。

【0021】上記のスピバルブ型薄膜磁気素子は、相互に反強磁性的に結合した第1、第2フリー磁性層及び非磁性中間層からなるフリー磁性層を備えている。このフリー磁性層は、いわゆるシンセフィックフェリフリー層(synthetic ferri free layer)と呼ばれるもので、第1、第2フリー磁性層が反強磁性的に結合してフェリ磁性状態となっているので、フリー磁性層全体の磁化方向を僅かな大きさの外部磁界により変動し、またフリー磁性層自体の厚さが極端に薄くならないので、スピバルブ型薄膜磁気素子の感度を高く保ちつつ、磁気抵抗変化率を向上させることが可能となる。また、上記のスピバルブ型薄膜磁気素子は、第1フリー磁性層に接するバックド層を備えているので、磁気抵抗変化率を高くすることが可能になる。このように、本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子は、シンセフィックフェリフリー層とバックド層とを具備しているため、従来のスピバルブ型薄膜磁気素子よりも格段に高い磁気抵抗変化率を示すことができる。

【0022】ここで、上記のバックド層によって磁気抵

抗変化率が高くなる理由を簡単に述べるが、それに先だって、スピバルブ型薄膜磁気素子の巨大磁気抵抗効果の原理を簡単に説明する。スピバルブ型薄膜磁気素子にセンス電流を印加したときには、伝導電子が主に電気抵抗の小さい非磁性導電層を移動する。この伝導電子にはアップスピンとダウンスピンの2種類の伝導電子が確率的に等量存在する。スピバルブ型薄膜磁気素子の磁気抵抗変化率は、これらの2種類の伝導電子の平均自由行程の行程差に対して正の相関を示す。アップスピンの伝導電子については、外部磁界によってフリー磁性層の磁化方向が固定磁性層の磁化方向と平行になったときに、非磁性導電層からフリー磁性層に移動する確率が高くなり、平均自由行程が長くなる。一方、ダウンスピンの伝導電子については、非磁性導電層とフリー磁性層との界面で常に散乱され、フリー磁性層に移動する確率は低いまま維持され、その平均自由行程はアップスピンの伝導電子よりも短いままである。このように外部磁界の作用によって、アップスピンの伝導電子の平均自由行程がダウンスピンの伝導電子の平均自由行程よりも大きくなり、行程差が大きくなってスピバルブ型薄膜磁気素子の磁気抵抗変化率が大きくなる。

【0023】ここで、フリー磁性層を構成する第1フリー磁性層にバックド層を積層すると、フリー磁性層中を移動するアップスピンの伝導電子をバックド層にまで移動させることが可能となり、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を更に延ばすことができ、いわゆるスピフィルター効果を発現させることが可能となり、伝導電子の平均自由行程の行程差が大きくなって、スピバルブ型薄膜磁気素子の磁気抵抗変化率をより向上させることができる。

【0024】次に、本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子は、先に記載のスピバルブ型薄膜磁気素子であって、前記非磁性導電層側に接する前記第2フリー磁性層の厚さを、前記第1フリー磁性層の厚さより大きくしてなることを特徴とする。また、前記第2フリー磁性層の飽和磁化及び厚さをそれぞれ M_2 、 t_2 とし、前記第1フリー磁性層の飽和磁化及び厚さをそれぞれ M_1 、 t_1 としたときに、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ となるように構成してもよい。

【0025】係るスピバルブ型薄膜磁気素子においては、フリー磁性層を構成する2つの磁性層のうちの非磁性導電層側にある第2フリー磁性層の厚さ若しくは $M_2 \cdot t_2$ を、第1フリー磁性層の厚さ若しくは $M_1 \cdot t_1$ よりも大きくしたので、第2フリー磁性層の磁気的膜厚を、第1フリー磁性層の磁気的膜厚よりも大きくすることができ、フリー磁性層のスピフロップ磁界が大きくなって、第1、第2フリー磁性層の反強磁性的な結合を安定して維持させてフリー磁性層のフェリ磁性状態を保つことができ、スピバルブ型薄膜磁気素子の感度を高くすることが可能となる。

【0026】更に、本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子は、先に記載のスピバルブ型薄膜磁気素子であって、前記バックド層の、前記第1フリー磁性層と接する面の反対側に、前記バックド層に対して非固溶な遷移金属からなる保護層が配置されたことを特徴とする。上記の保護層を構成する遷移金属としては、例えばHf、Mo、V、Cr、Nb、Ta、Wを挙げることができる。

【0027】係るスピバルブ型薄膜磁気素子によれば、バックド層に対して非固溶な遷移金属からなる保護層が配置されているので、バックド層と保護層とが相互に拡散固溶することがなく、バックド層の、第1フリー磁性層と接する反対側の面が乱れることがなく、バックド層の実質的な厚さが低下することがないので、アップスピンの伝導電子の平均自由行程が短くなることなく、上記のスピフィルター効果をより向上させて磁気抵抗変化率を高くすることができる。

【0028】更にまた、本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子は、先に記載のスピバルブ型薄膜磁気素子であって、前記バックド層の、前記第1フリー磁性層と接する面の反対側に、絶縁材料からなる鏡面反射層が配置されたことを特徴とする。上記の鏡面反射層を構成する絶縁材料としては、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、NiO、CoO、Co-Fe-O、Co-Fe-Ni-O、 Al_2O_3 、Al-X-O (X=B、Si、N、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni)、T-O (T=Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W)等の酸化物、Al-N、Al-D-N (D=B、Si、O、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni)、L-N (L=Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W)等の窒化物等を挙げることができる。

【0029】係るスピバルブ型薄膜磁気素子によれば、前記バックド層の、前記第1フリー磁性層と接する面の反対側に、絶縁材料からなる鏡面反射層が配置されており、この鏡面反射層はバックド層との界面においてポテンシャル障壁を形成し、バックド層を移動するアップスピンの伝導電子を、スピンの方向を保存させたまま反射させることができ、アップスピンの伝導電子を鏡面反射するので、アップスピンの伝導電子の平均自由行程をより延ばすことが可能となり、ダウンスピンの伝導電子との平均自由行程の行程差が大きくなって、スピバルブ型薄膜磁気素子の抵抗変化率をより向上させることができる。

【0030】また、本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子は、先に記載のスピバルブ型薄膜磁気素子であって、前記積層体の両側面に、前記第2フリー磁性層の磁化方向を揃える一対のバイアス層が前記第2フリー磁性層に隣接して設けられ、該バイアス層の厚さ方向を区画する2つの面のうちの一面が、前記積層体の側面であって前記第2フリー磁性層の厚さ方向を区画する2つの面の間のいずれかの階層位置に突き合わされるととも

に、前記バイアス層の厚さ方向を区画する2つの面のうちの他面が、前記積層体の側面であって少なくとも前記第2フリー磁性層よりも前記非磁性導電層側の階層位置に突き合わされていることを特徴とする。

【0031】係るスピバルブ型薄膜磁気素子によれば、第2フリー磁性層から非磁性導電層側の階層位置にバイアス層が位置するように構成されており、バイアス層が第2フリー磁性層に隣接する一方で第1フリー磁性層に隣接しないので、第2フリー磁性層との反強磁性的な結合によって発現した第1フリー磁性層の磁化が、バイアス層のバイアス磁界より乱されることがなく、第1フリー磁性層が多磁区化されることがないので、スピバルブ型薄膜磁気素子のバルクハウゼンノイズを低減することができる。また、バイアス層の一面が、積層体の側面であって前記第2フリー磁性層の厚さ方向を区画する2つの間のいずれかの階層位置に突き合わされているので、バイアス層の双極子磁界が第1、第2フリー磁性層に印加されることがなく、第1、第2フリー磁性層が多磁区化されることがないので、スピバルブ型薄膜磁気素子のバルクハウゼンノイズを低減することができる。

【0032】更に、本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子は、先に記載のスピバルブ型薄膜磁気素子であって、前記積層体の両側であって前記一対のバイアス層上に、前記非磁性導電層に検出電流を与える一対の導電層が積層されていることを特徴とする。

【0033】係るスピバルブ型薄膜磁気素子によれば、一対の導電層が積層体の両側に位置してバイアス層上に積層されているので、導電層と積層体の間に絶縁体等が存在することがなく、検出電流を非磁性導電層に十分に与えることができる。

【0034】更に、本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子は、先に記載のスピバルブ型薄膜磁気素子であって、前記一対の導電層が、前記積層体の両側から前記積層体の厚さ方向を区画する2つのうちの一面の中央に向けてこの積層体の表面に延出して被着形成されていることを特徴とする。

【0035】係るスピバルブ型薄膜磁気素子によれば、前記一対の導電層が、前記積層体の両側から前記積層体の一面の中央に向けてこの積層体の表面に延出して被着形成されているので、導電層と積層体の接触面積が大きくなって検出電流を積層体に効率よく与えることができる。

【0036】更に、本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子は、先に記載のスピバルブ型薄膜磁気素子であって、前記固定磁性層が、非磁性層と、該非磁性層を挟む第1、第2固定磁性層とからなり、該第1、第2固定磁性層の磁化方向が反平行方向とされ、かつこの第1、第2固定磁性層がフェリ磁性状態とされていることを特徴とする。

【0037】係るスピバルブ型薄膜磁気素子によれば、固定磁性層を構成する第1、第2固定磁性層がフェリ磁性状態とされているので、固定磁性層全体の自発磁化が僅かに残り、この自発磁化が反強磁性層との交換結合磁界によって更に増幅されて固定磁性層全体の磁化方向を強固に固定することが可能になる。

【0038】そして本発明の薄膜磁気ヘッドは、先に記載のスピバルブ型薄膜磁気素子を具備してなることを特徴とする。係る薄膜磁気ヘッドは、磁気抵抗変化率が大きく、出力が大きい上記のスピバルブ型薄膜磁気素子を備えているので、微弱な外部磁界を容易に検出することができ、磁気記録の高密度化に対応することができる。

【0039】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

(第1の実施形態) 図1に、本発明の第1の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子1を磁気記録媒体側からみた断面模式図を示し、図2にはこのスピバルブ型薄膜磁気素子1をトラック幅方向から見た断面模式図を示す。また、図3及び図4にこのスピバルブ型薄膜磁気素子1を備えた薄膜磁気ヘッドを具備してなる浮上式磁気ヘッド150を示す。

【0040】図3に示す浮上式磁気ヘッド150は、スライダ151と、スライダ151の端面151dに備えられた本発明に係る薄膜磁気ヘッド h_1 及びインダクティブヘッド h_2 を主体として構成されている。符号155は、スライダ151の磁気記録媒体の移動方向の上流側であるリーディング側を示し、符号156は、トレーリング側を示す。このスライダ151の媒体対向面152には、レール151a、151a、151bが形成され、各レール同士間には、エアグループ151c、151cとされている。

【0041】図3及び図4に示すように、本発明に係る薄膜磁気ヘッド h_1 は、スライダ151の端面151d上に形成された絶縁層162と、この絶縁層162上に積層された下部シールド層163と、下部シールド層163に積層された下部ギャップ層164と、下部ギャップ層164上に形成されて媒体対向面152上に露出する本発明に係るスピバルブ型薄膜磁気素子1と、スピバルブ型薄膜磁気素子1を覆う上部ギャップ層166と、上部ギャップ層166を覆う上部シールド層167とから構成されている。上部シールド層167は、後述するインダクティブヘッド h_2 の下部コア層と兼用とされている。

【0042】インダクティブヘッド h_2 は、下部コア層(上部シールド層)167と、下部コア層167に積層されたギャップ層174と、コイル176と、コイル176を覆う上部絶縁層177と、ギャップ層174に接合され、かつコイル176側にて下部コア層167に接

合される上部コア層178とから構成されている。コイル176は、平面的に螺旋状となるようにパターン化されている。また、コイル176のほぼ中央部分にて上部コア層178の基端部178bが下部コア層167に磁氣的に接続されている。また、上部コア層178には、アルミナなどからなるコア保護層179が積層されている。

【0043】なお、図1、図2及び図4において、図示Z方向は磁気記録媒体の移動方向であり、図示Y方向は磁気記録媒体からの漏れ磁界の方向であり、図示 X_1 方向はスピバルブ型薄膜磁気素子1のトラック幅方向である。

【0044】図1及び図2に示すスピバルブ型薄膜磁気素子1は、反強磁性層30、固定磁性層25、非磁性導電層29、フリー磁性層20及びバックド層61が順次積層されてなるボトム型のシングルスピンバルブ型薄膜磁気素子である。図1及び図2において符号164は Al_2O_3 などにより形成された下部ギャップ層を示し、符号17は、下部ギャップ層164上に積層されたTa(タンタル)などからなる下地層を示している。この下地層17の上に反強磁性層30が積層され、反強磁性層30の上に固定磁性層25が積層され、固定磁性層25の上にCuなどにより形成された非磁性導電層29が積層され、非磁性導電層29の上にフリー磁性層20が積層され、フリー磁性層20の上にバックド層61が積層され、バックド層61の上にTaなどにより形成されたキャップ層18が積層されている。このように、下地層17からキャップ層18までの各層が順次積層されてトラック幅に対応する幅を有する断面視略台形状の積層体11が構成されている。

【0045】なお、フリー磁性層20は、非磁性中間層23と、この非磁性中間層23を挟んで反強磁性的に結合する第1、2フリー磁性層21、22とから構成されている。また、固定磁性層25は、非磁性層28と、この非磁性層28を挟む第1、2固定磁性層26、27とから構成されている。

【0046】積層体11の図示 X_1 方向両側、即ちトラック幅方向両側には、例えばCo-Pt(コバルト-白金)合金からなる一対のバイアス層32、32が形成されている。このバイアス層32、32は、積層体11の両側面11A、11Aに突き合わされており、特に図1に示すように、積層体11の両側面11A、11Aのうち、反強磁性層30から第2フリー磁性層22が積層されている階層位置に当接するように突き合わされている。即ち、バイアス層32、32の厚さ方向を区画する2つの面のうちの一面である上面32A、32Aが、積層体11の側面11Aであって第2フリー磁性層22の厚さ方向を区画する2面である上面22Cから下面22Dまでの間のいずれかの階層位置に突き合わされ、バイアス層32、32の厚さ方向を区画する2面のうちの他

面である下面32C、32Cが、第2フリー磁性層22よりも非磁性導電層29側にある反強磁性層30と同じ階層位置に突き合わされている。

【0047】このようにバイアス層32、32は、第2フリー磁性層22の両側面側に少なくとも位置して第2フリー磁性層22に隣接するとともに、第1フリー磁性層21には隣接しないように構成されている。従って、バイアス層32、32のバイアス磁界は第2フリー磁性層22のみに印加され、第2フリー磁性層22の磁化方向が図示 X_1 方向に揃えられる。また第1フリー磁性層21の磁化方向が図示 X_1 方向の反対方向に揃えられる。このとき、第1フリー磁性層21にはバイアス層32、32が隣接していないので、第1フリー磁性層21の磁化がバイアス層32、32のバイアス磁界によって乱されることがなく、第1フリー磁性層21が多磁区化することがない。従って、フリー磁性層20全体を単磁区化することができ、バルクハウゼンノイズを低減できる。

【0048】また、符号34、34はCr、Ta、Cu、Auなどで形成された導電層を示している。導電層34、34はバイアス層32、32の上方に積層されている。即ち導電層34、34は、バイアス層32、32よりも上側に位置する積層体11Aの両側面11A、11Aに突き合わされて形成されている。また、導電層34、34は、符号34Aを付した破線で示すように、バイアス層32、32より上側の積層体11の両側面11A、11Aに突き合わされるとともに、積層体11の厚さ方向を区画する一面、即ちキャップ層18の上面18Aの両側から中心に延出して積層体11を覆うように被着形成されている。

【0049】この導電層34、34(34A、34A)は積層体11にセンス電流(検出電流)を印加する。特に符号34Aで示す導電層は、積層体11の両側からキャップ層18の上面18Aの中央に向けて積層体11の表面に延出して被着形成されているので、導電層34A、34Aと積層体11との接触面積が大きくなり、センス電流を積層体11に効率よく与えることができる。

【0050】バイアス層32、32と下部ギャップ層164との間、及び、バイアス層32、32と積層体11との間には、例えば非磁性金属であるCrからなるバイアス下地層31が設けられている。結晶構造が体心立方構造(bcc構造)であるCrからなるバイアス下地層31上にバイアス層32を形成することにより、バイアス層32の保磁力および角形比が大きくなり、第2フリー磁性層22の単磁区化に必要なバイアス磁界を増大させることができる。

【0051】更に、バイアス層32、32と導電層34、34(34A、34A)との間には、例えば非磁性金属であるTa若しくはCrからなる中間層33、33が設けられている。導電層34、34(34A、34

A)としてCrを用いた場合は、Taの中間層33、33を設けることにより、後工程のレジスト硬化などの熱プロセスに対して拡散バリアーとして機能し、バイアス層32、32の磁気特性の劣化を防ぐことができる。また、導電層34、34(34A、34A)としてTaを用いる場合は、Crの中間層33、33を設けることにより、Crの上に堆積するTaの結晶を、より低抵抗の体心立方構造としやすくする効果がある。

【0052】反強磁性層30は、PtMn合金で形成されていることが好ましい。PtMn合金は、従来から反強磁性層として使用されているNiMn合金やFeMn合金などに比べて耐食性に優れ、しかもブロッキング温度が高く、交換結合磁界も大きい。また、反強磁性層30は、 $X-Mn$ (ただし、Xは、Pt、Pd、Ru、Ir、Rh、Osのうちから選択される1種の元素を示す。)の式で示される合金あるいは $X'-Pt-Mn$ (ただし、 X' は、Pd、Cr、Ni、Ru、Ir、Rh、Os、Au、Agのうちから選択される1種または2種以上の元素を示す。)の式で示される合金で形成されている。

【0053】前記PtMn合金および前記 $X-Mn$ の式で示される合金において、PtあるいはXが37~63原子%の範囲であることが望ましい。より好ましくは、44~57原子%の範囲である。さらにまた、 $X'-Pt-Mn$ の式で示される合金において、 X' が37~63原子%の範囲であることが望ましい。より好ましくは、44~57原子%の範囲である。

【0054】反強磁性層30として上記した適正な組成範囲の合金を使用し、これを磁場中熱処理することで、大きな交換結合磁界を発生する反強磁性層30を得ることができる。とくに、PtMn合金であれば、 $6.4 \times 10^4 A/m$ を越える交換結合磁界を有し、交換結合磁界を失うブロッキング温度が653K(380℃)と極めて高い優れた反強磁性層30を得ることができる。

【0055】固定磁性層25は、非磁性層28と、この非磁性層28を挟む第1固定磁性層26と第2固定磁性層27から構成されている。第1固定磁性層26は、非磁性層28より反強磁性層30側に設けられて反強磁性層30に接し、第2固定磁性層27は、非磁性層28より非磁性導電層29側に設けられて非磁性導電層29に接している。第1固定磁性層26と反強磁性層30の界面では交換結合磁界(交換異方性磁界)が発生し、第1固定磁性層26の磁化方向が図示Y方向の反対方向に固定されている。

【0056】第1固定磁性層26と第2固定磁性層27の厚さは、わずかに異なる厚さとするのが好ましく、図1及び図2では、第2固定磁性層27の厚さが第1固定磁性層26の厚さより大とされている。

【0057】第1固定磁性層26の磁化方向は、反強磁性層30との交換結合磁界により図示Y方向の反対方向

に固定され、第2固定磁性層27は、第1固定磁性層26と反強磁性的に結合してその磁化方向が図示Y方向に固定されている。第1、第2固定磁性層26、27の磁化方向が互いに反平行とされているので、第1、第2固定磁性層26、27の磁気モーメントが相互に打ち消し合う関係にあるが、第2固定磁性層27の厚さが僅かに大きいために、固定磁性層25自体の自発磁化が僅かに残る結果となり、フェリ磁性状態になる。そしてこの自発磁化が反強磁性層30との交換結合磁界によって更に増幅され、固定磁性層25の磁化方向が図示Y方向に固定される。

【0058】第1固定磁性層26及び第2固定磁性層27は、いずれも強磁性材料より形成されるもので、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金等により形成されるものであり、特にCoより形成されることが好ましい。また、第1、第2固定磁性層26、27は同一の材料で形成されることが好ましい。また、非磁性層28は、非磁性材料より形成されるもので、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうちの1種またはこれらの合金から形成されることが好ましく、特にRuにより形成されることが好ましい。

【0059】非磁性導電層29は、固定磁性層25とフリー磁性層20との磁氣的な結合を防止し、またセンス電流が主に流れる層であり、Cu、Cr、Au、Agなどに代表される導電性を有する非磁性材料より形成されることが好ましく、特にCuより形成されることが好ましい。

【0060】また図1及び図2に示すように、フリー磁性層20は、非磁性中間層23と、この非磁性中間層23を挟む第1フリー磁性層21と第2フリー磁性層22から構成されている。第1フリー磁性層21は、非磁性中間層23よりバックド層61側に設けられてバックド層61に接し、第2フリー磁性層22は、非磁性中間層23より非磁性導電層29側に設けられて非磁性導電層29に接している。

【0061】第1フリー磁性層21は、強磁性材料より形成されるもので、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金等により形成されるものであり、特にNiFe合金より形成されることが好ましい。また、非磁性中間層23は、非磁性材料より形成されるもので、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうちの1種またはこれらの合金から形成されることが好ましく、特にRuにより形成されることが好ましい。

【0062】第2フリー磁性層22は、拡散防止層22Aと強磁性層22Bとから形成されている。拡散防止層22Aは強磁性材料からなるもので、例えばCoから形成される。この拡散防止層22Aは、強磁性層22Bと非磁性導電層29の相互拡散を防止する。また強磁性層22Bは強磁性材料からなるもので、例えばNiFe合

金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金等により形成されるものであり、特にNiFe合金より形成されることが好ましい。なお、第2フリー磁性層22は単層で構成されていても良い。

【0063】また、第2フリー磁性層22の厚さ t_2 は、第1フリー磁性層21の厚さ t_1 よりも厚く形成されている。なお、第2フリー磁性層22の厚さ t_2 は、2.5～4.5nmの範囲であることが好ましい。第2フリー磁性層22の厚さ t_2 が前記の範囲を外れると、スピナルブ型薄膜磁気素子1の磁気抵抗変化率を大きくすることができなくなるので好ましくない。また第1フリー磁性層21の厚さ t_1 は0.5～2.5nmの範囲であることが好ましい。

【0064】第1フリー磁性層21及び第2フリー磁性層22の飽和磁化をそれぞれ M_1 、 M_2 としたとき、第1フリー磁性層21及び第2フリー磁性層22の磁氣的膜厚はそれぞれ $M_1 \cdot t_1$ 、 $M_2 \cdot t_2$ となる。なお、第2フリー磁性層22が拡散防止層22A及び強磁性層22Bから構成されているため、第2フリー磁性層22の磁氣的膜厚 $M_2 \cdot t_2$ は、拡散防止層22Aの磁氣的膜厚 $M_{21} \cdot t_{21}$ と強磁性層22Bの磁氣的膜厚 $M_{22} \cdot t_{22}$ との和となる。即ち、 $M_2 \cdot t_2 = M_{21} \cdot t_{21} + M_{22} \cdot t_{22}$ となる。ここで、 M_{21} 、 t_{21} は拡散防止層22Aの飽和磁化、膜厚をそれぞれ示し、 M_{22} 、 t_{22} は強磁性層22Bの飽和磁化、膜厚をそれぞれ示している。例えば、拡散防止層22AをCoで形成し、強磁性層22BをNiFe合金で形成した場合、拡散防止層22Aの飽和磁化 M_{21} は、強磁性層22Bの飽和磁化 M_{22} より大きくなる。そしてフリー磁性層20は、第1フリー磁性層21と第2フリー磁性層22との磁氣的膜厚の関係を、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とするように構成されている。

【0065】また、第1フリー磁性層21及び第2フリー磁性層22は、相互に反強磁性的に結合されている。即ち、第2フリー磁性層22の磁化方向がバイアス層32、32により図示 X_1 方向に揃えられ、第1フリー磁性層21の磁化方向が図示 X_1 方向の反対方向に揃えられる。第1、第2フリー磁性層21、22の磁氣的膜厚の関係が $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされていることから、第2フリー磁性層22の磁化が残存した状態となり、フリー磁性層20全体の磁化方向が図示 X_1 方向に揃えられる。このときのフリー磁性層20の実効膜厚は、 $(M_2 \cdot t_2 - M_1 \cdot t_1)$ となる。このように、第1フリー磁性層21と第2フリー磁性層22は、それぞれの磁化方向が反平行方向となるように反強磁性的に結合され、かつ磁氣的膜厚の関係が $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされていることから、人工的なフェリ磁性状態 (synthetic ferri free; シンセフィックフェリフリー) とされている。またこれにより、フリー磁性層20の磁化方向と固定磁性層25の磁化方向とが交差する関係となる。

【0066】このスピナルブ型薄膜磁気素子1では、

ハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界により、図示X₁方向に揃えられたフリー磁性層20の磁化方向が変動すると、図示Y方向に固定された固定磁性層25の磁化との関係で電気抵抗が変化し、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0067】また、第1フリー磁性層21と第2フリー磁性層22の磁気的膜厚の関係が、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされているので、フリー磁性層20のスピンフロップ磁界を大きくすることができる。スピンフロップ磁界とは、磁化方向が反平行である2つの磁性層に対し、外部磁界を印加したときに、2つの磁性層の磁化方向が反平行でなくなる外部磁界の大きさを指す。

【0068】図5には、フリー磁性層20のM-H曲線の模式図を示す。このM-H曲線は、図1に示す構成のフリー磁性層20に対してトラック幅方向から外部磁界を印加したときの、フリー磁性層20の磁化Mの変化を示したものである。また、図5中、F1で示す矢印は、第1フリー磁性層21の磁化方向を表し、F2で示す矢印は、第2フリー磁性層22の磁化方向を表す。図5に示すように、外部磁界Hが小さいときは、第1フリー磁性層21と第2フリー磁性層22が反強磁性的に結合した状態、即ち矢印F1及び矢印F2の方向が反平行になっているが、外部磁界Hの大きさがある値を超えると、第1、第2フリー磁性層10、8の反強磁性的結合が壊され、フェリ磁性状態が保てなくなる。これがスピンフロップ転移である。またこのスピンフロップ転移が起きたときの外部磁界の大きさがスピンフロップ磁界であり、図5では H_{sf} で示している。なお、図中 H_{cf} は、フリー磁性層11の磁化の保磁力を示している。

【0069】第1フリー磁性層21と第2フリー磁性層22の磁気的膜厚の関係が、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされると、フリー磁性層20のスピンフロップ磁界 H_{sf} が大きくなる。これにより、フリー磁性層20がフェリ磁性状態を保つ磁界の範囲が広がる。よって、フリー磁性層20が安定してフェリ磁性状態を保つことができる。

【0070】また、第2フリー磁性層22に拡散防止層22Aが用いられた場合でも、第1フリー磁性層21及び第2フリー磁性層22のそれぞれの磁気的膜厚 $M_1 \cdot t_1$ 、 $M_2 \cdot t_2$ を適宜調整することにより、フリー磁性層20の磁気的な実効膜厚($M_2 \cdot t_2 - M_1 \cdot t_1$)を小さくできるので、僅かな大きさの外部磁界によってもフリー磁性層20の磁化方向が容易に変動し、これによりスピンバルブ型薄膜磁気素子1の感度を高くすることができる。

【0071】バックド層61は、フリー磁性層20の非磁性導電層29に接する面の反対側、即ち第1フリー磁性層21に接して形成されている。バックド層61は、第1フリー磁性層21より導電性が高いものであることが好ましく、具体的にはAu、Ag、Cuのうちのい

れか1種の元素から構成されることが好ましく、特にCuからなることが好ましい。また、バックド層61の厚さは0.3~2.5nmの範囲であることが好ましい。バックド層61が第1フリー磁性層21に接して積層されることにより、本実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子1は、いわゆるスピンフィルター効果を示し、磁気抵抗変化率が大きくなる。

【0072】ここで、バックド層61によってスピンバルブ型薄膜磁気素子1の磁気抵抗変化率が高くなる理由を簡単に述べるが、それに先だって、スピンバルブ型薄膜磁気素子1の巨大磁気抵抗効果の原理を簡単に説明する。図6には、反強磁性層30、固定磁性層25（第1固定磁性層26、非磁性層28、第2固定磁性層27）、非磁性導電層29、フリー磁性層20（第2フリー磁性層22（拡散防止層22A、強磁性層22B）、非磁性中間層23、第1フリー磁性層21）を順次積層した積層体11Bを示す。なお、図6において、フリー磁性層20は、外部磁界によりその磁化方向が図6中左方向に向けられており、固定磁性層25は、その磁化方向が反強磁性層30との交換結合磁界により図6中左方向に固定されている。

【0073】図6に示す積層体11Bにセンス電流を流すと、伝導電子が主に電気抵抗の小さい非磁性導電層29を移動する。この伝導電子にはアップスピンとダウンスピンの2種類の伝導電子が確率的にほぼ等数存在する。図6においては、アップスピンの伝導電子を符号 e_1 で示し、ダウンスピンの伝導電子を符号 e_2 で示している。スピンバルブ型薄膜磁気素子の磁気抵抗変化率は、これらの2種類の伝導電子 e_1 、 e_2 の各平均自由行程の行程差に対して正の相関を示す。アップスピンの伝導電子 e_1 については、外部磁界により固定磁性層25とフリー磁性層20の磁化方向が平行になったときに、非磁性導電層29からフリー磁性層20に移動する確率が高くなって、その平均自由行程(λ^+)が比較的長くなる。一方、ダウンスピンの伝導電子 e_2 については、非磁性導電層29とフリー磁性層20（第2フリー磁性層22）との界面で常に散乱され、フリー磁性層20に移動する確率が低いまま維持され、その平均自由行程(λ^-)はアップスピンの伝導電子 e_1 の平均自由行程

(λ^+)よりも短いままである。このように外部磁界の作用によって、アップスピンの伝導電子 e_1 の平均自由行程(λ^+)がダウンスピンの伝導電子 e_2 の平均自由行程(λ^-)より大きくなり、行程差($\lambda^+ - \lambda^-$)が大きくなって積層体11Bの磁気抵抗変化率が大きくなる。

【0074】次に図7に示すように、フリー磁性層20を構成する第1フリー磁性層21にバックド層61を積層して積層体11Cを構成し、この積層体11Cにセンス電流を流すと、フリー磁性層20中を移動するアップスピンの伝導電子 e_1 がバックド層61にまで移動し、アップスピンの伝導電子 e_1 の平均自由行程を更に延ば

して(λ_0)とすることができ、いわゆるスピニフィルタ効果を発現させることが可能となり、このときの平均自由行程の行程差($\lambda_0 - \lambda$)が、図6の場合の行程差($\lambda - \lambda$)よりも大きくなり、磁気抵抗変化率がより向上する。これにより、図7に示す積層体11Cは、図6に示すバック層61が無い場合に比べて、磁気抵抗変化率をより大きくすることができ、スピニバルブ型薄膜素子の再生出力を向上することができる。

【0075】またこのバック層61は非磁性であるので、フリー磁性層20の厚さを実質的に増大させるものではないので、フリー磁性層20の磁気的膜厚が増大することがなくフリー磁性層20自体の電気抵抗が高くなることのないので、スピニバルブ型薄膜磁気素子1の再生出力を高くすることができる。

【0076】バック層61の厚さは前述したように、0.3~2.5nmの範囲であることが好ましい。バック層61の厚さが0.3nm未満では、アップスピンの伝導電子 e_1 の平均自由行程を十分に延ばすことができなくなり、磁気抵抗変化率を大きくすることができなくなるので好ましくなく、バック層61の厚さが2.5nmを越えると、センス電流が非磁性導電層29に加えてバック層61にも流れやすくなり、センス電流の分流が起きるので好ましくない。

【0077】次に、上記のスピニバルブ型薄膜磁気素子1の製造方法を図8~図11を参照して説明する。まず、図8に示すように、下部ギャップ層164上に、下地層17、反強磁性層30、固定磁性層25(第1固定磁性層26、非磁性層28、第2固定磁性層27)、非磁性導電層29、フリー磁性層20(第2フリー磁性層22、非磁性中間層23、第1フリー磁性層21)、バック層61を順次成膜して積層膜Mを形成したのち、積層膜M上にリフトオフレジスト101を形成する。次に、リフトオフレジスト101に覆われていない部分を、イオンミリングにより除去して、図9に示すように側面11A、11Aとされる傾斜面を形成して等脚台形状の積層体11を形成する。

【0078】ついで図10に示すように、リフトオフレジスト101上及び積層体11の両側に、積層体11の側面11A、11Aから下部ギャップ層164上に延在するバイアス下地層31、31を形成する。そして、このバイアス下地層31、31上及びリフトオフレジスト101上にバイアス層32、32を積層する。積層体11の両側に積層されるバイアス層32、32は、少なくとも第2フリー磁性層22と同じ階層位置に配置されるように形成する。このとき、バイアス層32、32の上面32Aが、第2フリー磁性層22の上面22Cから下面22Dまでの間のいずれかの階層位置に位置するように形成する。続いてハードバイアス層32、32の上に中間層33、33を積層する。

【0079】ハードバイアス層32、32の形成は、ス

パッタ法などによって行うことができ、ハードバイアス層32、32の上面32A、32Aが第2フリー磁性層22に突き合わされ、かつ第2フリー磁性層22の上面22Cとほぼ平行となるように形成するために、スパッタ装置のターゲットと下部ギャップ層164とが平行となるように対向させるとともに、スパッタ粒子の軌跡S1の角度分布が狭く、直進性のよい方法により形成することが好ましい。ターゲットからスパッタされたスパッタ粒子の軌跡S1の角度分布が狭く、直進性がよいと、リフトオフ用レジスト101の端部101A、101Aの真下よりも内側に入り込むスパッタ粒子が少ない。これにより、ハードバイアス層32、32の上面32A、32Aが、第2フリー磁性層22より図中上側の階層位置の積層体11上にまで積層されることがなく、バイアス層32、32が第2フリー磁性層22より上側の側面11A、11Aを覆うことがない。このハードバイアス層32、32の形成は、具体的には、例えば、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、コリメーションスパッタ法のいずれかまたはそれらを組み合わせたスパッタ法などによって好ましく行われる。

【0080】続いて、図11に示すように、中間層33、33上に導電層34、34を形成する。導電層34、34は、積層体11の側面11A、11Aに接するように形成することが好ましく、例えば、ターゲットと下部ギャップ層164との角度を傾斜させた状態で対向させて、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、コリメーションスパッタ法のいずれかまたはそれらを組み合わせたスパッタ法などによって好ましく行われる。また、従来のスパッタ法などの角度分布の広いスパッタ法などによっても好ましく形成される。導電層34、34は、図11に示すように、スパッタされたスパッタ粒子のうち、リフトオフレジスト101によって遮られないスパッタ粒子によって形成される。このとき、ターゲットと下部ギャップ層164との角度を傾斜させた状態で対向させてスパッタすると、または、スパッタされたスパッタ粒子の軌跡S2の角度分布が広いと、リフトオフレジスト101の端部101A、101Aの真下よりも内側に、多くのスパッタ粒子が入り込む。これにより、導電層34、34は、積層体11の側面11A、11Aに当接するように形成される。そして、リフトオフレジスト101を除去する。

【0081】また、図1中破線で示している、積層体11の両側を覆う導電層34A、34Aを形成するには、図12に示すようなリフトオフレジスト102を用いて形成する。即ち、図10においてバイアス層32、32及び中間層33、33を形成した後にリフトオフレジスト101を除去し、図12に示すように、リフトオフレジスト101より小さい別のリフトオフレジスト102を保護層18の上面18A上に形成する。このリフトオフレジスト102は、その両端部102A、102Aが保

護層 18 の上面 18A と積層体の側面 11A、11A との接合部 11D、11D 上に位置するように、かつ保護層 18 の上面 18A の両側が露出するように形成する。

【0082】次に図 13 に示すように、中間層 33、33 上及び保護層 18 の上面 18A 両側に導電層 34A、34A を形成する。導電層 34A、34A は、積層体 11 の側面 11A、11A に接し、かつ保護層 18 の上面 18A 両側を覆って積層体 11 の上面両側から中央に向けて延在するように形成することが好ましく、例えば、ターゲットと下部ギャップ層 164 との角度を傾斜させた状態で対向させて、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、コリメーションスパッタ法のいずれかまたはそれらを組み合わせたスパッタ法などによって好ましく行われる。また、従来のスパッタ法などの角度分布の広いスパッタ法などによっても好ましく形成される。

【0083】導電層 34A、34A は、図 13 に示すように、スパッタされたスパッタ粒子のうち、リフトオフレジスト 102 によって遮られないスパッタ粒子によって形成される。このとき、ターゲットと下部ギャップ層 164 との角度を傾斜させた状態で対向させてスパッタすると、または、スパッタされたスパッタ粒子の軌跡 S3 の角度分布が広いと、リフトオフレジスト 102 の端部 102A、102A の真下よりも内側に、多くのスパッタ粒子が入り込む。これにより、導電層 34A、34A は、積層体 11 の側面 11A、11A に当接し、かつ保護層 18 の上面 18A 両側を覆うように形成される。そして、リフトオフレジスト 102 を除去する。

【0084】上記のようにして、積層体 11 の両側面 11A、11A に当接する導電層 34、または積層体 11 の両側面 11A、11A に当接しかつ積層体 11 の上面両側から中央に向けて延在する導電層 34A、34A を具備してなるスピバルブ型薄膜磁気素子 1 が製造される。

【0085】上記のスピバルブ型薄膜磁気素子 1 は、フリー磁性層 20 上にバックド層 61 が積層されており、アップスピンの伝導電子 e_1 がフリー磁性層 20 からバックド層 61 に移動できるので、アップスピンの伝導電子 e_1 の平均自由工程 λ を延ばして λ_0 とすることができ、いわゆるスピフィルター効果を示すので、磁気抵抗変化率を高くすることができる。

【0086】同時にこのスピバルブ型薄膜磁気素子 1 は、非磁性中間層 23 を挟んでフェリ磁性状態とされた第 1、第 2 フリー磁性層 21、22 からなるフリー磁性層 20、いわゆるシンセフィクフェリフリー層を具備しているので、フリー磁性層 20 全体の磁化方向を僅かな大きさの外部磁界により変動させることができ、またフリー磁性層 20 自体の厚さが極端に薄くならないので、スピバルブ型薄膜磁気素子 1 の感度を高くすることができる。

【0087】従って上記のスピバルブ型薄膜磁気素子 1 によれば、シンセフィクフェリフリー層による外部磁界の感度の向上と、スピフィルター効果による磁気抵抗変化率の向上とを同時に発揮させることができる。

【0088】更にこのスピバルブ型薄膜磁気素子 1 は、中間層 28 を挟んでフェリ磁性状態とされた第 1、第 2 固定磁性層 26、27 からなる固定磁性層 25 を具備してなり、反強磁性層 30 とこの固定磁性層 25 とと交換結合磁界により固定磁性層 25 の磁化方向を一方に強固に固定できるので、スピバルブ型薄膜磁気素子 1 の熱安定性を高めることができる。

【0089】(第 2 の実施形態) 次に本発明の第 2 の実施形態を図面を参照して説明する。図 14 に、本発明の第 2 の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子 2 を磁気記録媒体側からみた断面模式図を示し、図 15 にはスピバルブ型薄膜磁気素子 2 をトラック幅方向から見た断面模式図を示す。なお、図 14 及び図 15 に示す構成要素のうち、図 1 及び図 2 に示す構成要素と同一の構成要素には、図 1 及び図 2 と同一の符号を付してその説明を省略、若しくは簡単に説明する。また、図 14 及び図 15 において、図示 Z 方向は磁気記録媒体の移動方向であり、図示 Y 方向は磁気記録媒体からの漏れ磁界の方向であり、図示 X_1 方向はスピバルブ型薄膜磁気素子 2 のトラック幅方向である。

【0090】図 14 及び図 15 に示すスピバルブ型薄膜磁気素子 2 は、第 1 実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子 1 と同様に薄膜磁気ヘッド h_1 に備えられて浮上式磁気ヘッドを構成するものである。そしてこのスピバルブ型薄膜磁気素子 2 は、第 1 の実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子 1 と同様に、下地層 17、反強磁性層 30、固定磁性層 25、非磁性導電層 29 及びフリー磁性層 20、バックド層 61 及びキャップ層 18 が順次積層されてなるボトム型のシングルスピンバルブ型薄膜磁気素子である。このスピバルブ型薄膜磁気素子 2 が先に説明したスピバルブ型薄膜磁気素子 1 と異なる点は、バックド層 61 とキャップ層 18 との間に遷移金属からなる保護層 81 が形成されている点である。このように、下地層 17 からキャップ層 18 までの各層が順次積層されてトラック幅に対応する幅を有する断面視略台形状の積層体 12 が構成されている。

【0091】フリー磁性層 20 は、非磁性中間層 23 と、この非磁性中間層 23 を挟む第 1、2 フリー磁性層 21、22 とから構成されている。また、固定磁性層 25 は、非磁性層 28 と、この非磁性層 28 を挟む第 1、2 固定磁性層 26、27 とから構成されている。

【0092】積層体 12 の図示 X_1 方向両側には一対のバイアス層 32、32 が形成されている。このバイアス層 32、32 は、積層体 12 の両側面 12A、12A のうち、反強磁性層 30 から第 2 フリー磁性層 22 が積層されている階層位置に当接するように突き合わされてい

る。即ち、バイアス層 32、32 の上面 32A、32A が、積層体 12 の側面 12A であって第 2 フリー磁性層 22 の上面 22C から下面 22D までの間のいずれかの階層位置に突き合わされ、バイアス層 32 の下面 32C が、少なくとも第 2 フリー磁性層 22 よりも非磁性導電層 29 側にある反強磁性層 30 と同じ階層位置に突き合わされている。

【0093】このようにバイアス層 32、32 は、第 2 フリー磁性層 22 の両側面側に少なくとも位置して第 2 フリー磁性層 22 に隣接するとともに、第 1 フリー磁性層 21 には隣接しないように構成されている。従って、バイアス層 32、32 のバイアス磁界は第 2 フリー磁性層 22 のみに印加され、第 2 フリー磁性層 22 の磁化方向が図示 X_1 方向に揃えられる。また第 1 フリー磁性層 21 の磁化方向が図示 X_1 方向の反対方向に揃えられる。このとき、第 1 フリー磁性層 21 にはバイアス層 32、32 が隣接していないので、第 1 フリー磁性層 21 の磁化がバイアス層 32、32 のバイアス磁界によって乱されることがなく、第 1 フリー磁性層 21 が多磁区化することがない。従って、フリー磁性層 20 全体を単磁区化することができ、バルクハウゼンノイズを低減できる。

【0094】また、符号 34、34 は Cr、Ta、Cu、Au など形成された導電層を示している。導電層 34、34 はバイアス層 32、32 の上方に積層されている。導電層 34、34 は、バイアス層 32、32 より上側の積層体 12A の両側面 12A、12A に突き合わされて形成されている。また、導電層 34、34 は、符号 34A を付した破線で示すように、バイアス層 32、32 より上側の積層体 12 の両側面 12A、12A に突き合わされるとともに、積層体 12 の厚さ方向を区画する一面、即ちキャップ層 18 の上面 18A の両側から中心に延出して積層体 12 を覆うように被着形成されていても良い。

【0095】この導電層 34、34 (34A、34A) は積層体 12 にセンス電流 (検出電流) を印加する。特に符号 34A で示す導電層は、積層体 12 の両側からキャップ層 18 の上面 18A の中央に向けて積層体 12 の表面に延出して被着形成されているので、導電層 34A、34A と積層体 12 との接触面積が大きくなり、センス電流を積層体 12 に効率よく与えることができる。

【0096】また、バイアス層 32、32 と下部ギャップ層 164 との間、及び、バイアス層 32、32 と積層体 12 との間には、バイアス下地層 31、31 が設けられている。また、バイアス層 32、32 と導電層 34、34 (34A、34A) との間には、中間層 33、33 が設けられている。

【0097】反強磁性層 30 は、PtMn 合金で形成されていることが好ましい。PtMn 合金は、従来から反強磁性層として使用されている NiMn 合金や FeMn

合金などに比べて耐食性に優れ、しかもブロッキング温度が高く、交換結合磁界も大きい。この反強磁性層 30 は、第 1 の実施形態で説明した反強磁性層と同等の組成からなる。

【0098】固定磁性層 25 は、非磁性層 28 と、この非磁性層 28 を挟む第 1 固定磁性層 26 と第 2 固定磁性層 27 から構成されている。第 1 固定磁性層 26 は、非磁性層 28 より反強磁性層 30 側に設けられて反強磁性層 30 に接し、第 2 固定磁性層 27 は、非磁性層 28 より非磁性導電層 29 側に設けられて非磁性導電層 29 に接している。第 1 固定磁性層 26 と反強磁性層 30 の界面では交換結合磁界 (交換異方性磁界) が発生し、第 1 固定磁性層 26 の磁化方向が図示 Y 方向の反対方向に固定されている。また、第 2 固定磁性層 27 の厚さが第 1 固定磁性層 26 の厚さより大とされている。

【0099】第 1 固定磁性層 26 の磁化方向は、反強磁性層 30 との交換結合磁界により図示 Y 方向の反対方向に固定され、第 2 固定磁性層 27 は、第 1 固定磁性層 26 と反強磁性的に結合してその磁化方向が図示 Y 方向に固定されている。第 1、第 2 固定磁性層 26、27 の磁化方向が互いに反平行とされているので、第 1、第 2 固定磁性層 26、27 の磁気モーメントが相互に打ち消し合う関係にあるが、第 2 固定磁性層 27 の厚さが僅かに大きいために、固定磁性層 25 自体の自発磁化が僅かに残る結果となり、フェリ磁性状態になっている。そしてこの自発磁化が反強磁性層 30 との交換結合磁界によって更に増幅され、固定磁性層 25 の磁化方向が図示 Y 方向に固定される。

【0100】第 1 固定磁性層 26 及び第 2 固定磁性層 27 は、いずれも強磁性材料より形成されるもので、第 1 の実施形態で説明した第 1、第 2 固定磁性層と同等の材料からなり、非磁性層 28 は、非磁性材料からなるもので、第 1 の実施形態で説明した非磁性層と同等の材料からなる。

【0101】非磁性導電層 29 は、Cu、Cr、Au、Ag などに代表される導電性を有する非磁性材料より形成されることが好ましく、特に Cu より形成されることが好ましい。

【0102】また、図 14 及び図 15 に示すように、フリー磁性層 20 は、非磁性中間層 23 と、この非磁性中間層 23 を挟む第 1 フリー磁性層 21 と第 2 フリー磁性層 22 から構成されている。第 1 フリー磁性層 21 は、非磁性中間層 23 よりバックド層 61 側に設けられてバックド層 61 に接し、第 2 フリー磁性層 22 は、非磁性中間層 23 より非磁性導電層 29 側に設けられて非磁性導電層 29 に接している。

【0103】第 1 フリー磁性層 21 及び非磁性中間層 23 は、第 1 の実施形態で説明した第 1 フリー磁性層及び非磁性中間層と同等の材料から構成される。また第 2 フリー磁性層 22 は、拡散防止層 22A と強磁性層 22B

から形成され、これらの拡散防止層 22A 及び強磁性層 22B は、第 1 の実施形態で説明した拡散防止層及び強磁性層と同等の材料から構成される。

【0104】また、第 2 フリー磁性層 22 の厚さ t_2 は、第 1 フリー磁性層 21 の厚さ t_1 よりも厚く形成されている。なお、第 2 フリー磁性層 22 の厚さ t_2 は、2.5 ~ 4.5 nm の範囲であることが好ましい。第 2 フリー磁性層 22 の厚さ t_2 が前記の範囲を外れると、スピバルブ型薄膜磁気素子 2 の磁気抵抗変化率を大きくすることができなくなるので好ましくない。また第 1 フリー磁性層 21 の厚さ t_1 は 0.5 ~ 2.5 nm の範囲が好ましい。

【0105】また、第 1 フリー磁性層 21 及び第 2 フリー磁性層 22 の飽和磁化をそれぞれ M_1 、 M_2 としたとき、第 1 フリー磁性層 21 及び第 2 フリー磁性層 22 の磁気的膜厚はそれぞれ $M_1 \cdot t_1$ 、 $M_2 \cdot t_2$ となる。そしてフリー磁性層 20 は、第 1 フリー磁性層 21 と第 2 フリー磁性層 22 との磁気的膜厚の関係を、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とするように構成されている。

【0106】また、第 1 フリー磁性層 21 及び第 2 フリー磁性層 22 は、相互に反強磁性的に結合されている。即ち、第 2 フリー磁性層 22 の磁化方向がバイアス層 32、32 により図示 X_1 方向に揃えられ、第 1 フリー磁性層 21 の磁化方向が図示 X_1 方向の反対方向に揃えられる。第 1、第 2 フリー磁性層 21、22 の磁気的膜厚の関係が $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされていることから、第 2 フリー磁性層 22 の磁化が残存した状態となり、フリー磁性層 20 全体の磁化方向が図示 X_1 方向に揃えられる。このときのフリー磁性層 20 の実効膜厚は、 $(M_2 \cdot t_2 - M_1 \cdot t_1)$ となる。このように、第 1 フリー磁性層 21 と第 2 フリー磁性層 22 は、それぞれの磁化方向が反平行方向となるように反強磁性的に結合され、かつ磁気的膜厚の関係が $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされていることから、人工的なフェリ磁性状態とされている。またこれにより、フリー磁性層 20 の磁化方向と固定磁性層 25 の磁化方向とが交差する関係となる。

【0107】第 1 フリー磁性層 21 と第 2 フリー磁性層 22 の磁気的膜厚の関係が、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされているので、フリー磁性層 20 のスピフロップ磁界を大きくすることができる。これにより、フリー磁性層 20 がフェリ磁性状態を保つ磁界の範囲が広がる。よって、フリー磁性層 20 が安定してフェリ磁性状態を保つことができる。

【0108】このスピバルブ型薄膜磁気素子 2 では、ハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界により、図示 X_1 方向に揃えられたフリー磁性層 20 の磁化方向が変動すると、図示 Y 方向に固定された固定磁性層 25 の磁化との関係で電気抵抗が変化し、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0109】バックド層 61 は、フリー磁性層 20 の非磁性導電層 29 に接する面の反対側、即ち第 1 フリー磁性層 21 に接して形成されている。このバックド層 61 は、第 1 の実施形態において説明したバックド層と同等の材料からなる。バックド層 61 が第 1 フリー磁性層 21 に接して積層されることにより、本実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子 2 は、第 1 の実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子 1 と同様なスピフィルター効果を示し、磁気抵抗変化率が大きくなる。

【0110】即ち、フリー磁性層 20 中を移動するアップスピンの伝導電子がバックド層 61 にまで移動して、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を更に延ばして (λ_b) とすることができ、これによりいわゆるスピフィルター効果を発現させることが可能となり、平均自由行程の行程差 ($\lambda_b - \lambda$) がより大きくなって、スピバルブ型薄膜磁気素子 2 の磁気抵抗変化率がより向上し、再生出力を大きくできる。

【0111】更に、バックド層 61 の、第 1 フリー磁性層 21 と接する面の反対側、即ちバックド層 61 とキャップ層 18 との間には、バックド層 61 及びキャップ層 18 に対して非固溶な遷移金属からなる保護層 81 が配置されている。この保護層 81 を構成する遷移金属としては、例えば Hf、Mo、V、Cr、Nb、Ta、W を挙げることができる。これらの遷移金属は、バックド層 61 を構成する Au、Ag、Cu や、キャップ層 18 を構成する Ta に対して非固溶な元素であり、このような遷移金属で保護層 81 を構成すると、バックド層 61 及びキャップ層 18 との間で相互拡散することがなく、これによりバックド層 61 とキャップ層 18 との間の相互拡散を防止できる。

【0112】従って、バックド層 61 の、第 1 フリー磁性層 21 と接する反対側の面が乱れることがなく、バックド層 61 の実質的な厚さが薄くなることがないので、アップスピンの伝導電子の平均自由行程が短くなることなく、上記のスピフィルター効果をより向上させて、スピバルブ型薄膜磁気素子 2 の磁気抵抗変化率を高くすることができる。

【0113】なお、このスピバルブ型薄膜磁気素子 2 は、下地層 17、反強磁性層 30、第 1 固定磁性層 26、非磁性層 28、第 2 固定磁性層 27、非磁性導電層 29、第 2 フリー磁性層 22、非磁性中間層 23、第 1 フリー磁性層 21、バックド層 61、保護層 81 及びキャップ層 18 が順次積層されて多層膜が形成されること以外は、前述したスピバルブ型薄膜磁気素子 1 と同様にして製造される。

【0114】上記のスピバルブ型薄膜磁気素子 2 は、第 1 の実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子 1 と同様に、シンセフィクフェリフリー層による外部磁界の感度の向上と、スピフィルター効果による磁気抵抗変化率の向上とを同時に発揮させる効果に加えて、以下の効

果が得られる。即ちこのスピバルブ型薄膜磁気素子2は、バックド層61とキャップ層18との間に、これらの層61、18に対して非固溶な遷移金属からなる保護層81が配置されているので、バックド層61とキャップ層18との間の相互拡散を防止し、バックド層61の、第1フリー磁性層21と接する反対側の界面が乱れることがなく、バックド層61の実質的な厚さが薄くなることがないので、アップスピンの伝導電子の平均自由行程が短くなることがなく、上記のスピフィルター効果をより向上させてスピバルブ型薄膜磁気素子2の磁気抵抗変化率を更に高くすることができる。

【0115】(第3の実施形態)次に本発明の第3の実施形態を図面を参照して説明する。図16に、本発明の第3の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子3を磁気記録媒体側からみた断面模式図を示し、図17にはスピバルブ型薄膜磁気素子3をトラック幅方向からみた断面模式図を示す。なお、図16及び図17に示す構成要素のうち、図1、図2、図14及び図15に示す構成要素と同一の構成要素には、図1、図2、図14及び図15と同一の符号を付してその説明を省略、若しくは簡単に説明する。また、図16及び図17において、図示Z方向は磁気記録媒体の移動方向であり、図示Y方向は磁気記録媒体からの漏れ磁界の方向であり、図示 X_1 方向はスピバルブ型薄膜磁気素子3のトラック幅方向である。

【0116】図16及び図17に示すスピバルブ型薄膜磁気素子3は、第1実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子1と同様に薄膜磁気ヘッド h_1 に備えられて浮上式磁気ヘッドを構成するものである。そしてこのスピバルブ型薄膜磁気素子3は、フリー磁性層40、非磁性導電層29、固定磁性層45及び反強磁性層50が順次積層されてなるトップ型のシングルスピバルブ型薄膜磁気素子である。

【0117】図16において符号164は下部ギャップ層を示し、符号17は、下部ギャップ層164上に積層された下地層を示している。この下地層17の上にバックド層62が積層され、このバックド層62の上にフリー磁性層40が積層され、フリー磁性層40の上に非磁性導電層29が積層され、非磁性導電層29の上に固定磁性層45が積層され、固定磁性層45の上に反強磁性層50が積層され、反強磁性層50の上にはキャップ層18が積層されている。このように、下地層17からキャップ層18までの各層が順次積層されてトラック幅に対応する幅を有する断面視略台形状の積層体13が構成されている。

【0118】積層体13の図示 X_1 方向両側、即ちトラック幅方向両側には、バイアス層36、36が形成されている。バイアス層36、36は、下部ギャップ層164上から積層体13の両側面13A、13Aに乗り上げるようにして形成されている。このバイアス層36、3

6はフリー磁性層40の磁化方向を揃えて、フリー磁性層40のバルクハウゼンノイズを低減する。

【0119】また、符号38、38は導電層を示している。導電層38、38はバイアス層32、32の上方に積層されている。この導電層38、38は積層体13にセンス電流を印加する。また、バイアス層36、36と下部ギャップ層164との間、及び、バイアス層36、36と積層体13の両側面13A、13Aとの間にはバイアス下地層35、35が設けられている。更に、バイアス層36、36と導電層38、38との間には中間層37、37が設けられている。これらのバイアス下地層35、バイアス層36、中間層37、及び導電層38、は、第1または第2の実施形態で説明したバイアス下地層31、バイアス層32、中間層33及び導電層34と同等の材料からなる。

【0120】反強磁性層50は、PtMn合金で形成されていることが好ましい。PtMn合金は、従来から反強磁性層として使用されているNiMn合金やFeMn合金などに比べて耐食性に優れ、しかもブロッキング温度が高く、交換結合磁界も大きい。また、反強磁性層50は、X-Mn(ただし、Xは、Pt、Pd、Ru、Ir、Rh、Osのうちから選択される1種の元素を示す。)の式で示される合金あるいは $X'-Pt-Mn$ (ただし、 X' は、Pd、Cr、Ni、Ru、Ir、Rh、Os、Au、Agのうちから選択される1種または2種以上の元素を示す。)の式で示される合金で形成されていてもよい。

【0121】前記PtMn合金および前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが37~63原子%の範囲であることが望ましい。より好ましくは、47~57原子%の範囲である。さらにまた、 $X'-Pt-Mn$ の式で示される合金において、 X' が37~63原子%の範囲であることが望ましい。より好ましくは、74~57原子%の範囲である。

【0122】反強磁性層50として上記した適正な組成範囲の合金を使用し、これを磁場中熱処理することで、大きな交換結合磁界を発生する反強磁性層50を得ることができる。とくに、PtMn合金であれば、 $6.4 \times 10^4 \text{ A/m}$ を越える交換結合磁界を有し、交換結合磁界を失うブロッキング温度が653K(380℃)と極めて高い優れた反強磁性層50を得ることができる。

【0123】固定磁性層45は、非磁性層48と、この非磁性層48を挟む第1固定磁性層46と第2固定磁性層47から構成されている。第1固定磁性層46は、非磁性層48より反強磁性層50側に設けられて反強磁性層50に接し、第2固定磁性層47は、非磁性層48より非磁性導電層29側に設けられて非磁性導電層29に接している。第1固定磁性層46と反強磁性層50の界面では交換結合磁界(交換異方性磁界)が発生し、第1固定磁性層46の磁化方向が図示Y方向の反対方向に固

定されている。

【0124】第1固定磁性層46と第2固定磁性層47の厚さは、わずかに異なる厚さとするのが好ましく、図16では、第2固定磁性層47の厚さが第1固定磁性層46の厚さより大とされている。

【0125】第1固定磁性層46の磁化方向は、反強磁性層50との交換結合磁界により図示Y方向の反対方向に固定され、第2固定磁性層47は、第1固定磁性層46と反強磁性的に結合してその磁化方向が図示Y方向に固定されている。第1、第2固定磁性層46、47の磁化方向が互いに反平行とされているので、第1、第2固定磁性層46、47の磁気モーメントが相互に打ち消し合う関係にあるが、第2固定磁性層47の厚さが僅かに大きいために、固定磁性層45自体の自発磁化が僅かに残る結果となり、フェリ磁性状態になっている。そしてこの自発磁化が反強磁性層50との交換結合磁界によって更に増幅され、固定磁性層45の磁化方向が図示Y方向に固定される。

【0126】第1固定磁性層46及び第2固定磁性層47は、いずれも強磁性材料より形成されるもので、前述の第1または第2実施形態で説明した第1固定磁性層26及び第2固定磁性層27と同様の材料からなる。また、第1、第2固定磁性層46、47は同一の材料で形成されることが好ましい。また、非磁性層48は、非磁性材料より形成されるもので、前述の第1または第2実施形態で説明した非磁性層28と同様の材料からなる。

【0127】非磁性導電層29は、第1または第2の実施形態で説明した非磁性導電層と同様の材料から形成される。

【0128】図16に示すように、フリー磁性層40は、非磁性中間層43と、この非磁性中間層43を挟む第1フリー磁性層41と第2フリー磁性層42から構成されている。第1フリー磁性層41は、非磁性中間層43より下地層17側に設けられ、第2フリー磁性層42は、非磁性中間層43より非磁性導電層29側に設けられている。

【0129】第1フリー磁性層41は、第1または第2の実施形態で説明した第1フリー磁性層21と同様の材料から形成される。また、非磁性中間層43は、非磁性材料より形成されるもので、第1または第2の実施形態で説明した非磁性中間層23と同様の材料から形成される。

【0130】第2フリー磁性層42は、拡散防止層42Aと強磁性層42Bとから形成されている。拡散防止層42Aは強磁性層42Bと非磁性導電層29の相互拡散を防止するもので、第1または第2の実施形態で説明した拡散防止層22Aと同様の材料から形成される。また強磁性層42Bは強磁性材料からなるもので、第1または第2の実施形態で説明した強磁性層22Bと同様の材料から形成される。

【0131】また、第2フリー磁性層42の厚さ t_2 は、第1フリー磁性層41の厚さ t_1 よりも厚く形成されている。なお、第2フリー磁性層42の厚さ t_2 は、2.5～4.5nmの範囲であることが好ましい。第2フリー磁性層42の厚さ t_2 が前記の範囲を外れると、スピバルブ型薄膜磁気素子3の抵抗変化率を大きくすることができなくなるので好ましくない。また第1フリー磁性層41の厚さ t_1 は0.5～2.5nmの範囲が好ましい。

【0132】第1フリー磁性層41及び第2フリー磁性層42の飽和磁化をそれぞれ M_1 、 M_2 としたとき、第1フリー磁性層41及び第2フリー磁性層42の磁氣的膜厚はそれぞれ $M_1 \cdot t_1$ 、 $M_2 \cdot t_2$ となる。そしてフリー磁性層40は、第1フリー磁性層41と第2フリー磁性層42との磁氣的膜厚の関係を、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とするように構成されている。

【0133】また、第1フリー磁性層41及び第2フリー磁性層42は、相互に反強磁性的に結合している。即ち、第2フリー磁性層42の磁化方向がバイアス層36、36により図示 X_1 方向に揃えられ、第1フリー磁性層41の磁化方向が図示 X_1 方向の反対方向に揃えられる。このように、第1フリー磁性層41と第2フリー磁性層42は、それぞれの磁化方向が反平行方向となるように反強磁性的に結合され、かつ磁氣的膜厚の関係が $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされていることから、人工的なフェリ磁性状態とされている。またこれにより、フリー磁性層40の磁化方向と固定磁性層45の磁化方向とが交差する関係となる。

【0134】このスピバルブ型薄膜磁気素子3では、ハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界により、図示 X_1 方向に揃えられたフリー磁性層40の磁化方向が変動すると、図示Y方向に固定された固定磁性層45の磁化との関係で電気抵抗が変化し、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0135】また、第1フリー磁性層41と第2フリー磁性層42の磁氣的膜厚の関係が、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされているので、フリー磁性層40のスピフロップ磁界を大きくすることができる。これにより、フリー磁性層40がフェリ磁性状態を保つ磁界の範囲が広がる。よって、フリー磁性層40が安定してフェリ磁性状態を保つことができる。

【0136】バックド層62は、フリー磁性層40の非磁性導電層29に接する面の反対側、即ち第1フリー磁性層41に接して形成されている。バックド層62は、第1または第2の実施形態において説明したバックド層61と同等の材料からなる。また、バックド層62の厚さは、第1の実施形態で説明したバックド層61と同様な理由から0.3～2.5nmの範囲であることが好ましい。バックド層62が第1フリー磁性層41に接して

積層されることにより、本実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子 3 は、第 1 または第 2 の実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子 1、2 と同様なスピンフィルター効果を示し、磁気抵抗変化率が大きくなる。

【0137】即ち、フリー磁性層 40 中を移動するアップスピンの伝導電子がバックド層 62 にまで移動して、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を更に延ばすことができ、これによりいわゆるスピンフィルター効果を発現させることが可能となり、平均自由行程の行程差がより大きくなって、スピンバルブ型薄膜磁気素子 3 の磁気抵抗変化率が向上し、再生出力を大きくできる。

【0138】なお、このスピンバルブ型薄膜磁気素子 3 は、下地層 17、バックド層 62、第 1 フリー磁性層 41、非磁性中間層 43、第 2 フリー磁性層 42、非磁性導電層 29、第 2 固定磁性層 47、非磁性層 48、第 1 固定磁性層 46、反強磁性層 50 及びキャップ層 18 が順次積層されて多層膜が形成されること以外、及びバイアス層 36 及び導電層 37 をスパッタ粒子の軌跡の角度分布が大きいスパッタリング法で形成すること以外は第 1、第 2 の実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子 1、2 とほぼ同様にして製造される。

【0139】上記のスピンバルブ型薄膜磁気素子 3 によれば、第 1 の実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子 1 とほぼ同様な効果が得られる。

【0140】（第 4 の実施形態）次に本発明の第 4 の実施形態を図面を参照して説明する。図 18 に、本発明の第 4 の実施形態であるスピンバルブ型薄膜磁気素子 4 を磁気記録媒体側からみた断面模式図を示し、図 19 にはスピンバルブ型薄膜磁気素子 4 をトラック幅方向からみた断面模式図を示す。なお、図 18 及び図 19 に示す構成要素のうち、図 1、図 2 及び図 14～図 17 に示す構成要素と同一の構成要素には、図 1、図 2 及び図 14～図 17 と同一の符号を付してその説明を省略、若しくは簡単に説明する。また、図 18 及び図 19 において、図示 Z 方向は磁気記録媒体の移動方向であり、図示 Y 方向は磁気記録媒体からの漏れ磁界の方向であり、図示 X_1 方向はスピンバルブ型薄膜磁気素子 4 のトラック幅方向である。

【0141】図 18 及び図 19 に示すスピンバルブ型薄膜磁気素子 4 は、第 1 実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子 1 と同様に薄膜磁気ヘッド h_1 に備えられて浮上式磁気ヘッドを構成するものである。そしてこのスピンバルブ型薄膜磁気素子 4 は、フリー磁性層 40、非磁性導電層 29、固定磁性層 45 及び反強磁性層 50 が順次積層されてなるトップ型のシングルスピンバルブ型薄膜磁気素子である。

【0142】図 18 において符号 164 は下部ギャップ層を示し、符号 17 は、下部ギャップ層 164 上に積層された下地層を示している。この下地層 17 の上に遷移金属からなる保護層 82 が積層され、この保護層 82 上

にバックド層 62 が積層され、このバックド層 62 の上にフリー磁性層 40 が積層され、フリー磁性層 40 の上に非磁性導電層 29 が積層され、非磁性導電層 29 の上に固定磁性層 45 が積層され、固定磁性層 45 の上に反強磁性層 50 が積層され、反強磁性層 50 の上にはキャップ層 18 が積層されている。このように、下地層 17 からキャップ層 18 までの各層が順次積層されてトラック幅に対応する幅を有する断面視略台形状の積層体 14 が構成されている。

【0143】積層体 14 の図示 X_1 方向両側、即ちトラック幅方向両側には、バイアス層 36、36 が形成されている。バイアス層 36、36 は、下部ギャップ層 164 上から積層体 14 の両側面 14A、14A に乗り上げるようにして形成されている。このバイアス層 36、36 はフリー磁性層 40 の磁化方向を揃えて、フリー磁性層 40 のバルクハウゼンノイズを低減する。

【0144】また、符号 38、38 は導電層を示している。導電層 38、38 はバイアス層 32、32 の上方に積層されている。この導電層 38、38 は積層体 13 にセンス電流を印加する。また、バイアス層 36、36 と下部ギャップ層 164 との間、及び、バイアス層 36、36 と積層体 13 の両側面 13A、13A との間にはバイアス下地層 35、35 が設けられている。更に、バイアス層 36、36 と導電層 38、38 との間には中間層 37、37 が設けられている。これらのバイアス下地層 35、バイアス層 36、中間層 37、及び導電層 38、は、第 1 または第 2 の実施形態で説明したバイアス下地層 31、バイアス層 32、中間層 33 及び導電層 34 と同等の材料からなる。

【0145】反強磁性層 50 は、PtMn 合金で形成されていることが好ましい。PtMn 合金は、従来から反強磁性層として使用されている NiMn 合金や FeMn 合金などに比べて耐食性に優れ、しかもブロッキング温度が高く、交換結合磁界も大きい。この反強磁性層 50 は、第 3 の実施形態で説明した反強磁性層と同等の組成からなる。

【0146】固定磁性層 45 は、非磁性層 48 と、この非磁性層 48 を挟む第 1 固定磁性層 46 と第 2 固定磁性層 47 から構成されている。第 1 固定磁性層 46 は、非磁性層 48 より反強磁性層 50 側に設けられて反強磁性層 50 に接し、第 2 固定磁性層 47 は、非磁性層 48 より非磁性導電層 29 側に設けられて非磁性導電層 29 に接している。第 1 固定磁性層 46 と反強磁性層 50 の界面では交換結合磁界（交換異方性磁界）が発生し、第 1 固定磁性層 46 の磁化方向が図示 Y 方向の反対方向に固定されている。また、第 2 固定磁性層 47 の厚さが第 1 固定磁性層 46 の厚さより大とされている。

【0147】第 1 固定磁性層 46 の磁化方向は、反強磁性層 50 との交換結合磁界により図示 Y 方向の反対方向に固定され、第 2 固定磁性層 47 は、第 1 固定磁性層 4

6と反強磁性的に結合してその磁化方向が図示Y方向に固定されている。第1、第2固定磁性層46、47の磁化方向が互いに反平行とされているので、第1、第2固定磁性層46、47の磁気モーメントが相互に打ち消し合う関係にあるが、第2固定磁性層47の厚さが僅かに大きいために、固定磁性層45自体の自発磁化が僅かに残る結果となり、フェリ磁性状態になっている。そしてこの自発磁化が反強磁性層50との交換結合磁界によって更に増幅され、固定磁性層45の磁化方向が図示Y方向に固定される。

【0148】第1固定磁性層46及び第2固定磁性層47は、いずれも強磁性材料より形成されるもので、前述の第1または第2実施形態で説明した第1固定磁性層26及び第2固定磁性層27と同様の材料からなる。また、第1、第2固定磁性層46、47は同一の材料で形成されることが好ましい。また、非磁性層48は、非磁性材料より形成されるもので、前述の第1または第2実施形態で説明した非磁性層28と同様の材料からなる。

【0149】非磁性導電層29は、第1または第2の実施形態で説明した非磁性導電層と同様の材料から形成される。

【0150】図18及び図19に示すように、フリー磁性層40は、非磁性中間層43と、この非磁性中間層43を挟む第1フリー磁性層41と第2フリー磁性層42から構成されている。第1フリー磁性層41は、非磁性中間層43より下地層17側に設けられ、第2フリー磁性層42は、非磁性中間層43より非磁性導電層29側に設けられている。

【0151】第1フリー磁性層41は、第1または第2の実施形態で説明した第1フリー磁性層21と同様の材料から形成される。また、非磁性中間層43は、非磁性材料より形成されるもので、第1または第2の実施形態で説明した非磁性中間層23と同様の材料から形成される。

【0152】第2フリー磁性層42は、拡散防止層42Aと強磁性層42Bとから形成されている。拡散防止層42Aは強磁性層42Bと非磁性導電層29の相互拡散を防止するもので、第1または第2の実施形態で説明した拡散防止層22Aと同様の材料から形成される。また強磁性層42Bは強磁性材料からなるもので、第1または第2の実施形態で説明した強磁性層22Bと同様の材料から形成される。

【0153】また、第2フリー磁性層42の厚さ t_2 は、第1フリー磁性層41の厚さ t_1 よりも厚く形成されている。なお、第2フリー磁性層42の厚さ t_2 は、2.5～4.5nmの範囲であることが好ましい。第2フリー磁性層42の厚さ t_2 が前記の範囲を外れると、スピバルブ型薄膜磁気素子4の抵抗変化率が大きくすることができなくなるので好ましくない。また第1フリー磁性層41の厚さ t_1 は0.5～2.5nmの範囲が

好ましい。

【0154】第1フリー磁性層41及び第2フリー磁性層42の飽和磁化をそれぞれ M_1 、 M_2 としたとき、第1フリー磁性層41及び第2フリー磁性層42の磁氣的膜厚はそれぞれ $M_1 \cdot t_1$ 、 $M_2 \cdot t_2$ となる。そしてフリー磁性層40は、第1フリー磁性層41と第2フリー磁性層42との磁氣的膜厚の関係を、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とするように構成されている。

【0155】また、第1フリー磁性層41及び第2フリー磁性層42は、相互に反強磁性的に結合している。即ち、第2フリー磁性層42の磁化方向がバイアス層36、36により図示 X_1 方向に揃えられ、第1フリー磁性層41の磁化方向が図示 X_1 方向の反対方向に揃えられる。このように、第1フリー磁性層41と第2フリー磁性層42は、それぞれの磁化方向が反平行方向となるように反強磁性的に結合され、かつ磁氣的膜厚の関係が $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされていることから、人工的なフェリ磁性状態とされている。またこれにより、フリー磁性層40の磁化方向と固定磁性層45の磁化方向とが交差する関係となる。

【0156】このスピバルブ型薄膜磁気素子4では、ハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界により、図示 X_1 方向に揃えられたフリー磁性層40の磁化方向が変動すると、図示Y方向に固定された固定磁性層45の磁化との関係で電気抵抗が変化し、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0157】また、第1フリー磁性層41と第2フリー磁性層42の磁氣的膜厚の関係が、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされているので、フリー磁性層40のスピフロップ磁界を大きくすることができる。これにより、フリー磁性層40がフェリ磁性状態を保つ磁界の範囲が広くなる。よって、フリー磁性層40が安定してフェリ磁性状態を保つことができる。

【0158】バックド層62は、フリー磁性層40の非磁性導電層29に接する面の反対側、即ち第1フリー磁性層41に接して形成されている。バックド層62は、第1または第2の実施形態において説明したバックド層61と同等の材料からなる。また、バックド層62の厚さは、第1の実施形態で説明したバックド層61と同様な理由から、0.3～2.5nmの範囲であることが好ましい。バックド層62が第1フリー磁性層41に接して積層されることにより、本実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子4は、第1または第2の実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子1、2と同様なスピフィルター効果を示し、磁気抵抗変化率が大きくなる。

【0159】即ち、フリー磁性層40中を移動するアップスピンの伝導電子がバックド層62にまで移動して、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を更に延ばすことができ、これによりいわゆるスピフィルター効果を

発現させることが可能となり、平均自由行程の行程差がより大きくなって、スピバルブ型薄膜磁気素子 4 の磁気抵抗変化率がより向上し、再生出力を大きくできる。

【0160】更に、バックド層 6 2 の、第 1 フリー磁性層 4 1 と接する面の反対側、即ちバックド層 6 2 と下地層 1 7 との間には、バックド層 6 2 及び下地層 1 7 に対して非固溶な遷移金属からなる保護層 8 2 が配置されている。この保護層 8 2 を構成する遷移金属としては、例えば Hf、Mo、V、Cr、Nb、Ta、W を挙げることができる。これらの遷移金属は、バックド層 6 2 を構成する Au、Ag、Cu や、下地層 1 7 を構成する Ta に対して非固溶な元素であり、このような遷移金属で保護層 8 2 を構成すると、バックド層 6 2 及び下地層 1 7 との間で相互拡散することがなく、これによりバックド層 6 2 と下地層 1 7 との間の相互拡散を防止できる。従って、バックド層 6 2 の、第 1 フリー磁性層 4 1 と接する反対側の面が乱れることがなく、バックド層 6 2 の実質的な厚さが薄くなることがないので、アップスピンの伝導電子の平均自由行程が短くなることなく、上記のスピフィルター効果をより向上させて、スピバルブ型薄膜磁気素子 4 の磁気抵抗変化率を高くすることができる。

【0161】このスピバルブ型薄膜磁気素子 4 は、下地層 1 7、保護層 8 2、バックド層 6 2、第 1 フリー磁性層 4 1、非磁性中間層 4 3、第 2 フリー磁性層 4 2、非磁性導電層 2 9、第 2 固定磁性層 4 7、非磁性層 4 8、第 1 固定磁性層 4 6、反強磁性層 5 0 及びキャップ層 1 8 が順次積層されて多層膜が形成されること以外、及びバイアス層 3 6 及び導電層 3 7 をスパッタ粒子の軌跡の角度分布が大きいスパッタリング法で形成すること以外は第 1、第 2 の実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子 1、2 とほぼ同様にして製造される。

【0162】上記のスピバルブ型薄膜磁気素子 4 によれば、第 2 の実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子 2 とほぼ同様な効果が得られる。

【0163】(第 5 の実施形態) 次に本発明の第 5 の実施形態を図面を参照して説明する。図 20 に、本発明の第 5 の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子 5 を磁気記録媒体側からみた断面模式図を示し、図 21 にはスピバルブ型薄膜磁気素子 5 をトラック幅方向から見た断面模式図を示す。なお、図 20 及び図 21 に示す構成要素のうち、図 1、図 2 及び図 14～図 19 に示す構成要素と同一の構成要素には、図 1、図 2 及び図 14～図 19 と同一の符号を付してその説明を省略、若しくは簡単に説明する。また、図 20 及び図 21 において、図示 Z 方向は磁気記録媒体の移動方向であり、図示 Y 方向は磁気記録媒体からの漏れ磁界の方向であり、図示 X₁ 方向はスピバルブ型薄膜磁気素子 5 のトラック幅方向である。

【0164】図 20 及び図 21 に示すスピバルブ型薄

膜磁気素子 5 は、第 1 実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子 1 と同様に薄膜磁気ヘッド h₁ に備えられて浮上式磁気ヘッドを構成するものである。そしてこのスピバルブ型薄膜磁気素子 5 は、第 1 の実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子 1 と同様に、下地層 1 7、反強磁性層 3 0、固定磁性層 2 5、非磁性導電層 2 9 及びフリー磁性層 2 0、バックド層 6 1 及びキャップ層 1 8 が順次積層されてなるボトム型のシングルスピバルブ型薄膜磁気素子である。このスピバルブ型薄膜磁気素子 5 が先に説明したスピバルブ型薄膜磁気素子 1 と異なる点は、バックド層 6 1 とキャップ層 1 8 との間に、絶縁材料からなる鏡面反射層 7 1 が形成されている点である。このように、下地層 1 7 からキャップ層 1 8 までの各層が順次積層されてトラック幅に対応する幅を有する断面視略台形状の積層体 1 5 が構成されている。

【0165】フリー磁性層 2 0 は、非磁性中間層 2 3 と、この非磁性中間層 2 3 を挟む第 1、2 フリー磁性層 2 1、2 2 とから構成されている。また、固定磁性層 2 5 は、非磁性層 2 8 と、この非磁性層 2 8 を挟む第 1、2 固定磁性層 2 6、2 7 とから構成されている。

【0166】積層体 1 5 の図示 X₁ 方向両側には一対のバイアス層 3 2、3 2 が形成されている。このバイアス層 3 2、3 2 は、積層体 1 5 の両側面 1 5 A、1 5 A のうち、反強磁性層 3 0 から第 2 フリー磁性層 2 2 が積層されている階層位置に当接するように突き合わされている。即ち、バイアス層 3 2、3 2 の上面 3 2 A、3 2 A が、積層体 1 5 の側面 1 5 A であって第 2 フリー磁性層 2 2 の上面 2 2 C から下面 2 2 D までの間のいずれかの階層位置に突き合わされ、バイアス層 3 2 の下面 3 2 C が、少なくとも第 2 フリー磁性層 2 2 よりも非磁性導電層 2 9 側にある反強磁性層 3 0 と同じ階層位置に突き合わされている。このようにしてバイアス層 3 2、3 2 は、第 2 フリー磁性層 2 2 の両側面側に少なくとも位置して第 2 フリー磁性層 2 2 に隣接するとともに、第 1 フリー磁性層 2 1 には隣接しないように構成されている。従って、バイアス層 3 2、3 2 のバイアス磁界は第 2 フリー磁性層 2 2 のみに印加され、第 2 フリー磁性層 2 2 の磁化方向が図示 X₁ 方向に揃えられる。また第 1 フリー磁性層 2 1 の磁化方向が図示 X₁ 方向の反対方向に揃えられる。このとき、第 1 フリー磁性層 2 1 にはバイアス層 3 2、3 2 が隣接していないので、第 1 フリー磁性層 2 1 の磁化がバイアス層 3 2、3 2 のバイアス磁界によって乱されることがなく、第 1 フリー磁性層 2 1 が多磁区化することがない。従って、フリー磁性層 2 0 全体を単磁区化することができ、バルクハウゼンノイズを低減できる。

【0167】また、符号 3 4、3 4 は Cr、Ta、Cu、Au など形成された導電層を示している。導電層 3 4、3 4 はバイアス層 3 2、3 2 の上方に積層されている。導電層 3 4、3 4 は、バイアス層 3 2、3 2 より

上側の積層体15Aの両側面15A、15Aに突き合わされて形成されている。また、導電層34、34は、符号34Aを付した破線で示すように、バイアス層32、32より上側の積層体15の両側面15A、15Aに突き合わされるとともに、積層体15の厚さ方向を区画する一面、即ちキャップ層18の上面18Aの両側から中心に延出して積層体15を覆うように被着形成されていても良い。

【0168】この導電層34、34(34A、34A)は積層体15にセンス電流(検出電流)を印加する。特に符号34Aで示す導電層は、積層体15の両側からキャップ層18の上面18Aの中央に向けて積層体15の表面に延出して被着形成されているので、導電層34A、34Aと積層体15との接触面積が大きくなり、センス電流を積層体15に効率よく与えることができる。

【0169】また、バイアス層32、32と下部ギャップ層164との間、及び、バイアス層32、32と積層体15との間には、バイアス下地層31、31が設けられている。また、バイアス層32、32と導電層34、34(34A、34A)との間には、中間層33、33が設けられている。

【0170】反強磁性層30は、PtMn合金で形成されていることが好ましい。PtMn合金は、従来から反強磁性層として使用されているNiMn合金やFeMn合金などに比べて耐食性に優れ、しかもブロッキング温度が高く、交換結合磁界も大きい。この反強磁性層30は、第1の実施形態で説明した反強磁性層と同等の組成からなる。

【0171】固定磁性層25は、非磁性層28と、この非磁性層28を挟む第1固定磁性層26と第2固定磁性層27から構成されている。第1固定磁性層26は、非磁性層28より反強磁性層30側に設けられて反強磁性層30に接し、第2固定磁性層27は、非磁性層28より非磁性導電層29側に設けられて非磁性導電層29に接している。第1固定磁性層26と反強磁性層30の界面では交換結合磁界(交換異方性磁界)が発生し、第1固定磁性層26の磁化方向が図示Y方向の反対方向に固定されている。また、第2固定磁性層27の厚さが第1固定磁性層26の厚さより大とされている。

【0172】第1固定磁性層26の磁化方向は、反強磁性層30との交換結合磁界により図示Y方向の反対方向に固定され、第2固定磁性層27は、第1固定磁性層26と反強磁性的に結合してその磁化方向が図示Y方向に固定されている。第1、第2固定磁性層26、27の磁化方向が互いに反平行とされているので、第1、第2固定磁性層26、27の磁気モーメントが相互に打ち消し合う関係にあるが、第2固定磁性層27の厚さが僅かに大きいために、固定磁性層25自体の自発磁化が僅かに残る結果となり、フェリ磁性状態になっている。そしてこの自発磁化が反強磁性層30との交換結合磁界によっ

て更に増幅され、固定磁性層25の磁化方向が図示Y方向に固定される。

【0173】第1固定磁性層26及び第2固定磁性層27は、いずれも強磁性材料より形成されるもので、第1の実施形態の第1、第2固定磁性層と同等の材料からなる。また、非磁性層28は、非磁性材料より形成されるもので、第1の実施形態の非磁性層と同等の材料からなる。

【0174】非磁性導電層29は、Cu、Cr、Au、Agなどに代表される導電性を有する非磁性材料より形成されることが好ましく、特にCuより形成されることが好ましい。

【0175】また、図20及び図21に示すように、フリー磁性層20は、非磁性中間層23と、この非磁性中間層23を挟む第1フリー磁性層21と第2フリー磁性層22から構成されている。第1フリー磁性層21は、非磁性中間層23よりバックド層61側に設けられてバックド層61に接し、第2フリー磁性層22は、非磁性中間層23より非磁性導電層29側に設けられて非磁性導電層29に接している。

【0176】第1フリー磁性層21及び非磁性中間層23は、第1の実施形態で説明した第1フリー磁性層及び非磁性中間層と同等の材料から構成される。また第2フリー磁性層22は、拡散防止層22Aと強磁性層22Bから形成され、これらの拡散防止層22A及び強磁性層22Bは、第1の実施形態で説明した拡散防止層及び強磁性層と同等の材料から構成される。

【0177】また、第2フリー磁性層22の厚さ t_2 は、第1フリー磁性層21の厚さ t_1 よりも厚く形成されている。なお、第2フリー磁性層22の厚さ t_2 は、2.5~4.5nmの範囲であることが好ましい。第2フリー磁性層22の厚さ t_2 が前記の範囲を外れると、スピバルブ型薄膜磁気素子の磁気抵抗変化率を大きくすることができなくなるので好ましくない。また第1フリー磁性層21の厚さ t_1 は0.5~2.5nmの範囲が好ましい。

【0178】また、第1フリー磁性層21及び第2フリー磁性層22の飽和磁化をそれぞれ M_1 、 M_2 としたとき、第1フリー磁性層21及び第2フリー磁性層22の磁氣的膜厚はそれぞれ $M_1 \cdot t_1$ 、 $M_2 \cdot t_2$ となる。そしてフリー磁性層20は、第1フリー磁性層21と第2フリー磁性層22との磁氣的膜厚の関係を、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とするように構成されている。

【0179】また、第1フリー磁性層21及び第2フリー磁性層22は、相互に反強磁性的に結合されている。即ち、第2フリー磁性層22の磁化方向がバイアス層32、32により図示 X_1 方向に揃えられ、第1フリー磁性層21の磁化方向が図示 X_1 方向の反対方向に揃えられる。第1、第2フリー磁性層21、22の磁氣的膜厚の関係が $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされていることか

ら、第2フリー磁性層22の磁化が残存した状態となり、フリー磁性層20全体の磁化方向が図示X₁方向に揃えられる。このときのフリー磁性層20の実効膜厚は、 $(M_2 \cdot t_2 - M_1 \cdot t_1)$ となる。このように、第1フリー磁性層21と第2フリー磁性層22は、それぞれの磁化方向が反平行方向となるように反強磁性的に結合され、かつ磁氣的膜厚の関係が $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされていることから、人工的なフェリ磁性状態とされている。またこれにより、フリー磁性層20の磁化方向と固定磁性層25の磁化方向とが交差する関係となる。

【0180】第1フリー磁性層21と第2フリー磁性層22の磁氣的膜厚の関係が、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされているので、フリー磁性層20のスピフロップ磁界を大きくすることができる。これにより、フリー磁性層20がフェリ磁性状態を保つ磁界の範囲が広がる。よって、フリー磁性層20が安定してフェリ磁性状態を保つことができる。

【0181】このスピバルブ型薄膜磁気素子5では、ハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界により、図示X₁方向に揃えられたフリー磁性層20の磁化方向が変動すると、図示Y方向に固定された固定磁性層25の磁化との関係で電気抵抗が変化し、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0182】バックド層61は、フリー磁性層20の非磁性導電層29に接する面の反対側、即ち第1フリー磁性層21に接して形成されている。このバックド層61は、第1の実施形態において説明したバックド層と同等の材料からなる。また第1の実施形態の場合と同様にこのバックド層61の厚さは0.3~2.5nmの範囲が好ましい。

【0183】更に、バックド層61の、第1フリー磁性層21と接する面の反対側、即ちバックド層61とキャップ層18との間には、絶縁材料からなる鏡面反射層71が配置されている。この鏡面反射層71を構成する絶縁材料としては、例えば、 α -Fe₂O₃、NiO、CoO、Co-Fe-O、Co-Fe-Ni-O、Al₂O₃、Al-X-O (X=B、Si、N、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni)、T-O (T=Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W)等の酸化物、Al-N、Al-D-N (D=B、Si、O、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni)、L-N (L=Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W)等の窒化物等を挙げることができる。

【0184】本実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子5においては、バックド層61によるスピフィルター効果と、鏡面反射層71による鏡面反射効果との相乗効果により、磁気抵抗変化率を大幅に向上させることができる。

【0185】バックド層61によるスピフィルター効

果は、第1の実施形態において説明したスピフィルター効果と同じものである。即ち、非磁性導電層29からフリー磁性層20に移動するアップスピンの伝導電子を、バックド層61まで移動させることができ、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を更に延ばすことができる。

【0186】また、鏡面反射層71は、バックド層61と鏡面反射層71との界面においてポテンシャル障壁を形成するので、バックド層61を移動するアップスピンの伝導電子を、バックド層61と鏡面反射層71との界面においてスピンの方向を保存させたまま反射させることができ、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を更に延ばすことができ、いわゆる鏡面反射効果を示す。以上のことを模式図を用いて表すと図22に示す通りになる。

【0187】図22には、反強磁性層30、固定磁性層25（第1固定磁性層26、非磁性層28、第2固定磁性層27）、非磁性導電層29、フリー磁性層20（第2フリー磁性層22（拡散防止層22A、強磁性層22B）、非磁性中間層23、第1フリー磁性層21）、バックド層61及び鏡面反射層71を順次積層した積層体11Eを示す。なお、図22において、フリー磁性層20は、外部磁界によりその磁化方向が図22中左方向に向けられており、固定磁性層25は、その磁化方向が反強磁性層30との交換結合磁界により図22中左方向に固定されている。

【0188】図22に示す積層体11Eにセンス電流を流すと、伝導電子が主に電気抵抗の小さい非磁性導電層29を移動する。この伝導電子にはアップスピンとダウンスピンの2種類の伝導電子が確率的にほぼ等数存在し、アップスピンの伝導電子を符号 e_1 で示し、ダウンスピンの伝導電子を符号 e_2 で示している。

【0189】アップスピンの伝導電子 e_1 については、外部磁界により固定磁性層25とフリー磁性層20の磁化方向が平行になったときに、非磁性導電層29からフリー磁性層20を通過してバックド層61まで移動する確率が高くなる。このようにバックド層61が積層されたことにより、アップスピンの伝導電子 e_1 の平均自由行程が、バックド層が積層されない場合に比べて長くなる。

【0190】更にこのアップスピンの伝導電子 e_1 は、バックド層61と鏡面反射層71の界面まで移動し、ポテンシャル障壁を形成する鏡面反射層71によってスピンの状態を保存されたまま鏡面反射され、再びバックド層61及びフリー磁性層20中を移動する。このようにして、アップスピンの伝導電子 e_1 は、フリー磁性層20及びバックド層61をそれぞれ2度通過することになり、平均自由行程が大幅に延びて λ^* となる。この場合の平均自由行程(λ^*)は、図6に示すアップスピンの伝導電子の平均自由行程(λ)の2倍程度となる。

【0191】一方、ダウンスピンの伝導電子 e_2 については、非磁性導電層 29 とフリー磁性層 20（第 2 フリー磁性層 22）との界面で常に散乱される確率が高く、フリー磁性層 20 に移動する確率が低いまま維持され、その平均自由行程（ λ ）はアップスピンの伝導電子 e_1 の平均自由行程（ λ^* ）よりも短いままである。このように外部磁界の作用によって、アップスピンの伝導電子 e_1 の平均自由行程（ λ^* ）がダウンスピンの伝導電子 e_2 の平均自由行程（ λ ）より大きくなり、行程差（ $\lambda^* - \lambda$ ）が大きくなって積層体 11E の磁気抵抗変化率が大きくなる。

【0192】特に、図 22 の積層体 11E におけるアップスピンの伝導電子 e_1 の平均自由行程（ λ^* ）が、図 6 の積層体 11B における平均自由行程（ λ ）の 2 倍程度となるため、行程差（ $\lambda^* - \lambda$ ）がより大きくなって磁気抵抗変化率が大幅に向上する。

【0193】このように、本実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子 5 は、バックド層 61 と鏡面反射層 71 とを具備しており、スピフィルター効果と鏡面反射効果を同時に発現させることができ、アップスピンの伝導電子 e_1 の平均自由行程を大幅に延ばすことができるので、ダウンスピンの伝導電子 e_2 との平均自由行程差が大きくなって、スピバルブ型薄膜磁気素子 5 の磁気抵抗変化率を大幅に向上できる。

【0194】なお、このスピバルブ型薄膜磁気素子 5 は、下地層 17、反強磁性層 30、第 1 固定磁性層 26、非磁性層 28、第 2 固定磁性層 27、非磁性導電層 29、第 2 フリー磁性層 22、非磁性中間層 23、第 1 フリー磁性層 21、バックド層 61、鏡面反射層 71 及びキャップ層 18 が順次積層されて多層膜が形成されること以外は、前述したスピバルブ型薄膜磁気素子 1 と同様にして製造される。

【0195】上記のスピバルブ型薄膜磁気素子 5 は、第 1 の実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子 1 と同様な効果に加えて、以下の効果が得られる。即ちこのスピバルブ型薄膜磁気素子 5 は、スピフィルター効果と鏡面反射効果を同時に発現させることができ、アップスピンの伝導電子 e_1 の平均自由行程を大幅に延ばすことができるので、ダウンスピンの伝導電子 e_2 との平均自由行程差が大きくなって、スピバルブ型薄膜磁気素子 5 の磁気抵抗変化率を大幅に向上できる。従ってこのスピバルブ型薄膜磁気素子 5 は、シンセフィックフェリフリー層（フリー磁性層 20）による外部磁界の感度の向上と、スピフィルター効果及び鏡面反射効果による磁気抵抗変化率の向上とを同時に発揮させることができる。

【0196】（第 6 の実施形態）次に本発明の第 6 の実施形態を図面を参照して説明する。図 23 に、本発明の第 6 の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子 6 を磁気記録媒体側からみた断面模式図を示し、図 24 には

スピバルブ型薄膜磁気素子 6 をトラック幅方向からみた断面模式図を示す。なお、図 23 及び図 24 に示す構成要素のうち、図 1、図 2 及び図 14～図 21 に示す構成要素と同一の構成要素には、図 1、図 2 及び図 14～図 21 と同一の符号を付してその説明を省略、若しくは簡単に説明する。また、図 23 及び図 24 において、図示 Z 方向は磁気記録媒体の移動方向であり、図示 Y 方向は磁気記録媒体からの漏れ磁界の方向であり、図示 X_1 方向はスピバルブ型薄膜磁気素子 6 のトラック幅方向である。

【0197】図 23 及び図 24 に示すスピバルブ型薄膜磁気素子 6 は、第 1 実施形態のスピバルブ型薄膜磁気素子 1 と同様に薄膜磁気ヘッド h_1 に備えられて浮上式磁気ヘッドを構成するものである。そしてこのスピバルブ型薄膜磁気素子 6 は、フリー磁性層 40、非磁性導電層 29、固定磁性層 45 及び反強磁性層 50 が順次積層されてなるトップ型のシングルスピンバルブ型薄膜磁気素子である。

【0198】図 23 において符号 164 は下部ギャップ層を示し、符号 17 は、下部ギャップ層 164 上に積層された下地層を示している。この下地層 17 の上に非磁性絶縁層からなる鏡面反射層 72 が積層され、この鏡面反射層 72 上にバックド層 62 が積層され、このバックド層 62 の上にフリー磁性層 40 が積層され、フリー磁性層 40 の上に非磁性導電層 29 が積層され、非磁性導電層 29 の上に固定磁性層 45 が積層され、固定磁性層 45 の上に反強磁性層 50 が積層され、反強磁性層 50 の上にはキャップ層 18 が積層されている。このように、下地層 17 からキャップ層 18 までの各層が順次積層されてトラック幅に対応する幅を有する断面視略台形状の積層体 16 が構成されている。

【0199】積層体 16 の図示 X_1 方向両側、即ちトラック幅方向両側には、バイアス層 36、36 が形成されている。バイアス層 36、36 は、下部ギャップ層 164 上から積層体 16 の両側面 16A、16A に乗り上げるようにして形成されている。このバイアス層 36、36 はフリー磁性層 40 の磁化方向を揃えて、フリー磁性層 40 のバルクハウゼンノイズを低減する。

【0200】また、符号 38、38 は導電層を示している。導電層 38、38 はバイアス層 36、36 の上方に積層されている。この導電層 38、38 は積層体 16 にセンス電流を印加する。また、バイアス層 36、36 と下部ギャップ層 164 との間、及び、バイアス層 36、36 と積層体 16 の両側面 16A、16A との間にはバイアス下地層 35、35 が設けられている。更に、バイアス層 36、36 と導電層 38、38 との間には中間層 37、37 が設けられている。これらのバイアス下地層 35、バイアス層 36、中間層 37、及び導電層 38、は、第 1 または第 2 の実施形態で説明したバイアス下地層 31、バイアス層 32、中間層 33 及び導電層 34 と

同等の材料からなる。

【0201】反強磁性層50は、PtMn合金で形成されていることが好ましい。PtMn合金は、従来から反強磁性層として使用されているNiMn合金やFeMn合金などに比べて耐食性に優れ、しかもブロッキング温度が高く、交換結合磁界も大きい。この反強磁性層50は、第3の実施形態で説明した反強磁性層と同等の組成からなる。

【0202】固定磁性層45は、非磁性層48と、この非磁性層48を挟む第1固定磁性層46と第2固定磁性層47から構成されている。第1固定磁性層46は、非磁性層48より反強磁性層50側に設けられて反強磁性層50に接し、第2固定磁性層47は、非磁性層48より非磁性導電層29側に設けられて非磁性導電層29に接している。第1固定磁性層46と反強磁性層50の界面では交換結合磁界（交換異方性磁界）が発生し、第1固定磁性層46の磁化方向が図示Y方向の反対方向に固定されている。また、第2固定磁性層47の厚さが第1固定磁性層46の厚さより大とされている。

【0203】第1固定磁性層46の磁化方向は、反強磁性層50との交換結合磁界により図示Y方向の反対方向に固定され、第2固定磁性層47は、第1固定磁性層46と反強磁性的に結合してその磁化方向が図示Y方向に固定されている。第1、第2固定磁性層46、47の磁化方向が互いに反平行とされているので、第1、第2固定磁性層46、47の磁気モーメントが相互に打ち消し合う関係にあるが、第2固定磁性層47の厚さが僅かに大きいために、固定磁性層45自体の自発磁化が僅かに残る結果となり、フェリ磁性状態になっている。そしてこの自発磁化が反強磁性層50との交換結合磁界によって更に増幅され、固定磁性層45の磁化方向が図示Y方向に固定される。

【0204】第1固定磁性層46及び第2固定磁性層47は、いずれも強磁性材料より形成されるもので、前述の第1または第2実施形態で説明した第1固定磁性層26及び第2固定磁性層27と同様の材料からなる。また、第1、第2固定磁性層46、47は同一の材料で形成されることが好ましい。また、非磁性層48は、非磁性材料より形成されるもので、前述の第1または第2実施形態で説明した非磁性層28と同様の材料からなる。

【0205】非磁性導電層29は、第1または第2の実施形態で説明した非磁性導電層と同様の材料から形成される。

【0206】図23及び図24に示すように、フリー磁性層40は、非磁性中間層43と、この非磁性中間層43を挟む第1フリー磁性層41と第2フリー磁性層42から構成されている。第1フリー磁性層41は、非磁性中間層43より下地層17側に設けられ、第2フリー磁性層42は、非磁性中間層43より非磁性導電層29側に設けられている。

【0207】第1フリー磁性層41は、第1または第2の実施形態で説明した第1フリー磁性層21と同様の材料から形成される。また、非磁性中間層43は、非磁性材料より形成されるもので、第1または第2の実施形態で説明した非磁性中間層23と同様の材料から形成される。

【0208】第2フリー磁性層42は、拡散防止層42Aと強磁性層42Bとから形成されている。拡散防止層42Aは強磁性層42Bと非磁性導電層29の相互拡散を防止するもので、第1または第2の実施形態で説明した拡散防止層22Aと同様の材料から形成される。また強磁性層42Bは強磁性材料からなるもので、第1または第2の実施形態で説明した強磁性層22Bと同様の材料から形成される。

【0209】また、第2フリー磁性層42の厚さ t_2 は、第1フリー磁性層41の厚さ t_1 よりも厚く形成されている。なお、第2フリー磁性層42の厚さ t_2 は、2.5～4.5nmの範囲であることが好ましい。第2フリー磁性層42の厚さ t_2 が前記の範囲を外れると、スピバルブ型薄膜磁気素子6の抵抗変化率を大きくすることができなくなるので好ましくない。また第1フリー磁性層41の厚さ t_1 は0.5～2.5nmの範囲が好ましい。

【0210】第1フリー磁性層41及び第2フリー磁性層42の飽和磁化をそれぞれ M_1 、 M_2 としたとき、第1フリー磁性層41及び第2フリー磁性層42の磁氣的膜厚はそれぞれ $M_1 \cdot t_1$ 、 $M_2 \cdot t_2$ となる。そしてフリー磁性層40は、第1フリー磁性層41と第2フリー磁性層42との磁氣的膜厚の関係を、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とするように構成されている。

【0211】また、第1フリー磁性層41及び第2フリー磁性層42は、相互に反強磁性的に結合している。即ち、第2フリー磁性層42の磁化方向がバイアス層36、36により図示 X_1 方向に揃えられ、第1フリー磁性層41の磁化方向が図示 X_1 方向の反対方向に揃えられる。このように、第1フリー磁性層41と第2フリー磁性層42は、それぞれの磁化方向が反平行方向となるように反強磁性的に結合され、かつ磁氣的膜厚の關係が $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされていることから、人工的なフェリ磁性状態とされている。またこれにより、フリー磁性層40の磁化方向と固定磁性層45の磁化方向とが交差する關係となる。

【0212】このスピバルブ型薄膜磁気素子6では、ハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界により、図示 X_1 方向に揃えられたフリー磁性層40の磁化方向が変動すると、図示Y方向に固定された固定磁性層45の磁化との關係で電気抵抗が変化し、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0213】また、第1フリー磁性層41と第2フリー

磁性層 42 の磁氣的膜厚の關係が、 $M_2 \cdot t_2 > M_1 \cdot t_1$ とされているので、フリー磁性層 40 のスピントロポ磁界を大きくすることができる。これにより、フリー磁性層 40 がフェリ磁性状態を保つ磁界の範囲が広がる。よって、フリー磁性層 40 が安定してフェリ磁性状態を保つことができる。

【0214】バックド層 62 は、フリー磁性層 40 の非磁性導電層 29 に接する面の反対側、即ち第 1 フリー磁性層 41 に接して形成されている。バックド層 62 は、第 1 または第 2 の実施形態において説明したバックド層 61 と同等の材料からなる。また、バックド層 62 の厚さは、第 1、第 2 の実施形態で説明したバックド層 61 と同様な理由から 0.3 ~ 2.5 nm の範囲であることが好ましい。

【0215】更に、バックド層 62 の、第 1 フリー磁性層 41 と接する面の反対側、即ちバックド層 62 と下地層 17 との間には、絶縁材料からなる鏡面反射層 72 が配置されている。この鏡面反射層 72 は、第 5 の実施形態で説明した鏡面反射層 71 と同等の材料からなる。

【0216】本実施形態のスピントロポ型薄膜磁気素子 6 は、第 5 の実施形態と同様に、バックド層 62 によるスピントロポ効果と、鏡面反射層 72 による鏡面反射効果との相乗効果により、磁気抵抗変化率を大幅に向上させることが出来る。

【0217】バックド層 62 によるスピントロポ効果は、第 1 の実施形態において説明したスピントロポ型薄膜磁気素子 1 のスピントロポ効果と同じものである。即ち、非磁性導電層 29 からフリー磁性層 20 に移動するアップスピンの伝導電子を、バックド層 61 まで移動させることができ、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を更に延ばすことができる。

【0218】更に、鏡面反射層 72 は、バックド層 62 と鏡面反射層 72 との界面においてポテンシャル障壁を形成するので、バックド層 62 を移動するアップスピンの伝導電子を、バックド層 62 と鏡面反射層 72 との界面においてスピンの方向を保存させたまま反射させることができ、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を更に延ばすことができ、いわゆる鏡面反射効果を示す。

【0219】このように、本実施形態のスピントロポ型薄膜磁気素子 6 は、第 5 の実施形態のスピントロポ型薄膜磁気素子 5 と同様に、バックド層 62 と鏡面反射層 72 とを具備しており、スピントロポ効果と鏡面反射効果を同時に発現させることができ、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を大幅に延ばすことができるので、ダウンスピンの伝導電子との平均自由行程差が大きくなって、スピントロポ型薄膜磁気素子 6 の磁気抵抗変化率を大幅に向上できる。

【0220】なお、このスピントロポ型薄膜磁気素子 6 は、下地層 17、鏡面反射層 72、バックド層 62、第 1 フリー磁性層 41、非磁性中間層 43、第 2 フリー磁

性層 42、非磁性導電層 29、第 2 固定磁性層 47、非磁性層 48、第 1 固定磁性層 46、反強磁性層 50 及びキャップ層 18 が順次積層されて多層膜が形成されること以外、及びバイアス層 36 及び導電層 37 をスパッタ粒子の軌跡の角度分布が大きいスパッタリング法で形成すること以外は第 1、第 2 の実施形態のスピントロポ型薄膜磁気素子 1、2 とほぼ同様にして製造される。

【0221】上記のスピントロポ型薄膜磁気素子 6 によれば、第 5 の実施形態のスピントロポ型薄膜磁気素子 5 とほぼ同様な効果が得られる。

【0222】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明のスピントロポ型薄膜磁気素子は、第 2 フリー磁性層上にバックド層が積層されており、アップスピンの伝導電子がフリー磁性層からバックド層に移動できるので、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を延ばすことができ、いわゆるスピントロポ効果を示すので、磁気抵抗変化率を高くすることができる。

【0223】同時に本発明のスピントロポ型薄膜磁気素子は、非磁性中間層を挟んでフェリ磁性状態とされた第 1、第 2 フリー磁性層からなるフリー磁性層、いわゆるシンセフィクフェリフリー層を具備しているので、フリー磁性層全体の磁化方向を僅かな大きさの外部磁界により変動させることができ、またフリー磁性層自体の厚さが極端に薄くならないので、スピントロポ型薄膜磁気素子の感度を高くすることができる。

【0224】また本発明のスピントロポ型薄膜磁気素子は、バックド層と鏡面反射層とを具備しており、スピントロポ効果と鏡面反射効果を同時に発現させることができ、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を大幅に延ばすことができるので、ダウンスピンの伝導電子との平均自由行程差が大きくなって、スピントロポ型薄膜磁気素子の磁気抵抗変化率を大幅に向上できる。

【0225】従って本発明のスピントロポ型薄膜磁気素子によれば、シンセフィクフェリフリー層による外部磁界の感度の向上と、スピントロポ効果による磁気抵抗変化率の向上とを同時に発揮させることができる。更に本発明のスピントロポ型薄膜磁気素子は、シンセフィクフェリフリー層による外部磁界の感度の向上と、スピントロポ効果及び鏡面反射効果による磁気抵抗変化率の向上とを同時に発揮させることもできる。

【0226】また、本発明のスピントロポ型薄膜磁気素子によれば、第 2 フリー磁性層から非磁性導電層側の階層位置にバイアス層が位置するように構成されており、バイアス層が第 2 フリー磁性層に隣接する一方で第 1 フリー磁性層に隣接しないので、第 2 フリー磁性層との反強磁性的な結合によって発現した第 1 フリー磁性層の磁化が、バイアス層のバイアス磁界より乱されることがなく、第 1 フリー磁性層が多磁区化されることがないので、スピントロポ型薄膜磁気素子のバルクハウゼンノイ

ズを低減することができる。また、バイアス層の一面が、積層体の側面であって前記第2フリー磁性層の厚さ方向を区画する2面の間のいずれかの階層位置に突き合わされているので、バイアス層の双極子磁界が第1、第2フリー磁性層に印加されることがなく、第1、第2フリー磁性層が多磁区化されることないので、スピバルブ型薄膜磁気素子のバルクハウゼンノイズを低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子の磁気記録媒体側から見た断面模式図である。

【図2】 図1に示すスピバルブ型薄膜磁気素子をトラック幅方向から見た断面模式図である。

【図3】 本発明の薄膜磁気ヘッドを備えた浮上式磁気ヘッドの斜視図である、

【図4】 図3に示す浮上式磁気ヘッドの要部の断面模式図である。

【図5】 図1に示すスピバルブ型薄膜磁気素子のフリー磁性層のM-H曲線を示す図である。

【図6】 スピバルブ型薄膜磁気素子の動作を説明するための模式図である。

【図7】 バックド層を具備してなるスピバルブ型薄膜磁気素子の動作を説明するための模式図である。

【図8】 本発明の第1の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子の製造方法の一工程を説明するための模式図である。

【図9】 本発明の第1の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子の製造方法の一工程を説明するための模式図である。

【図10】 本発明の第1の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子の製造方法の一工程を説明するための模式図である。

【図11】 本発明の第1の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子の製造方法の一工程を説明するための模式図である。

【図12】 本発明の第1の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子の製造方法の一工程を説明するための模式図である。

【図13】 本発明の第1の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子の製造方法の一工程を説明するための模式図である。

【図14】 本発明の第2の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子の磁気記録媒体側から見た断面模式図である。

【図15】 図14に示すスピバルブ型薄膜磁気素子をトラック幅方向から見た断面模式図である。

【図16】 本発明の第3の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子の磁気記録媒体側から見た断面模式図である。

【図17】 図16に示すスピバルブ型薄膜磁気素子をトラック幅方向から見た断面模式図である。

【図18】 本発明の第4の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子の磁気記録媒体側から見た断面模式図である。

【図19】 図18に示すスピバルブ型薄膜磁気素子をトラック幅方向から見た断面模式図である。

【図20】 本発明の第5の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子の磁気記録媒体側から見た断面模式図である。

【図21】 図21に示すスピバルブ型薄膜磁気素子をトラック幅方向から見た断面模式図である。

【図22】 バックド層及び鏡面反射層を具備してなるスピバルブ型薄膜磁気素子の動作を説明するための模式図である。

【図23】 本発明の第6の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子の磁気記録媒体側から見た断面模式図である。

【図24】 図23に示すスピバルブ型薄膜磁気素子をトラック幅方向から見た断面模式図である。

【図25】 従来のスピバルブ型薄膜磁気素子の磁気記録媒体側から見た断面模式図である。

【図26】 従来のスピバルブ型薄膜磁気素子をトラック幅方向から見た断面模式図である。

【符号の説明】

1 スピバルブ型薄膜磁気素子

11 積層体

11A 側面

18 キャップ層

18A 上面（積層体の厚さ方向を区画する一面）

20 フリー磁性層

21 第1フリー磁性層

22 第2フリー磁性層

22C 上面（第2フリー磁性層の厚さ方向を区画する面）

22D 下面（第2フリー磁性層の厚さ方向を区画する面）

23 非磁性中間層

32 バイアス層

32A 上面（バイアス層の厚さ方向を区画する一面）

32C 下面（バイアス層の厚さ方向を区画する他面）

34、34A 導電層

25 固定磁性層

26 第1固定磁性層

27 第2固定磁性層

28 非磁性層

29 非磁性導電層

30 反強磁性層

61 バックド層

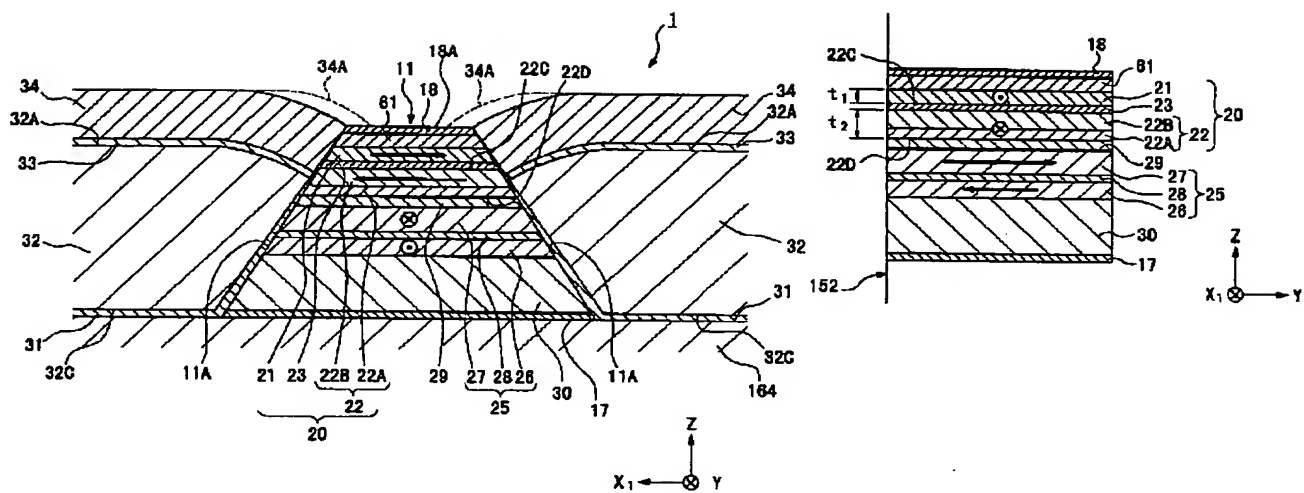
71 鏡面反射層

8 1 保護層

h₁ 薄膜磁気ヘッド

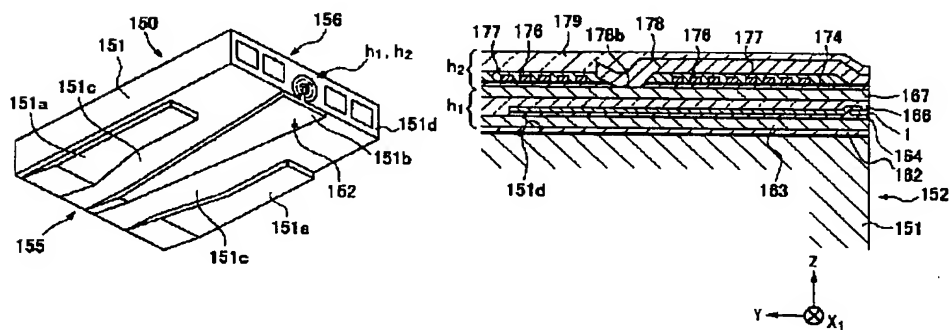
【図 1】

【图 2】



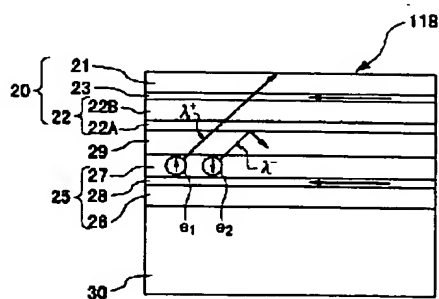
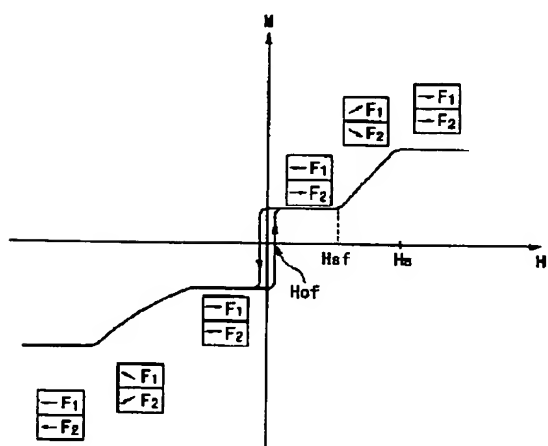
【図 3】

【図4】

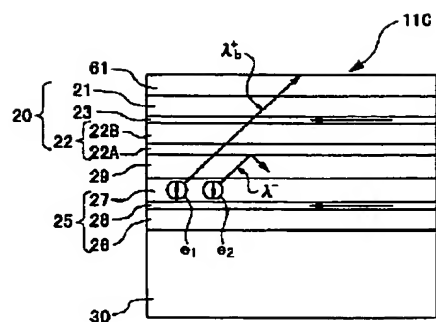


【図 5】

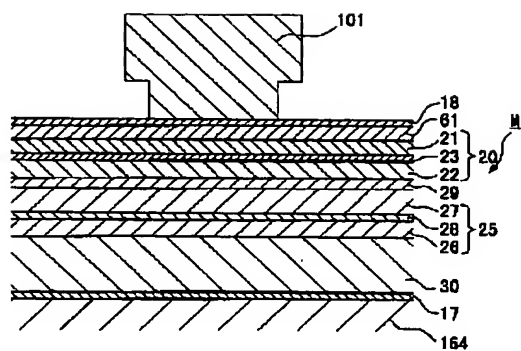
【図6】



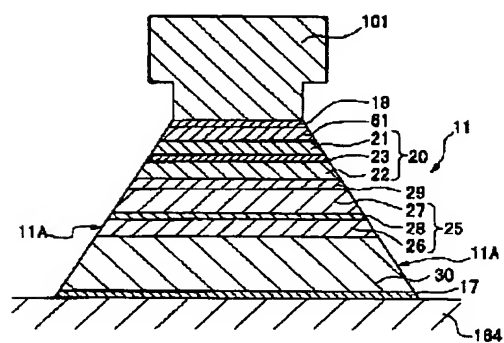
【図 7】



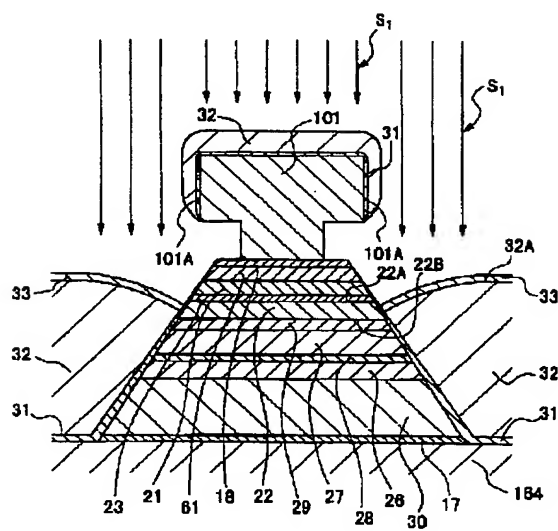
【図 8】



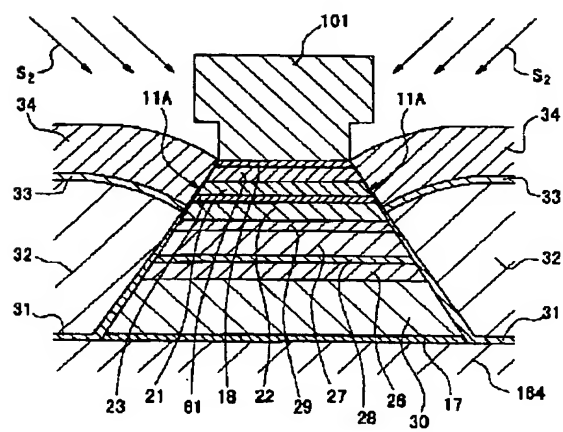
【图9】



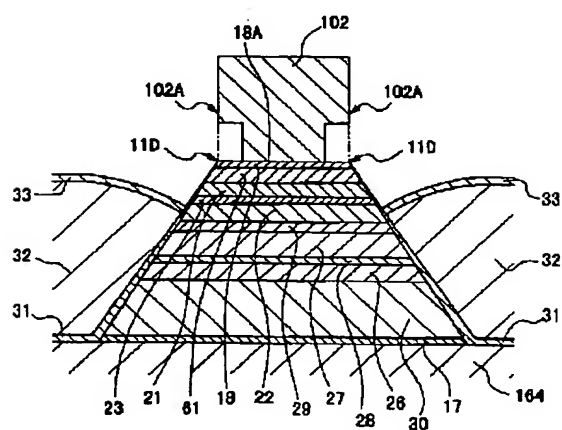
【図 10】



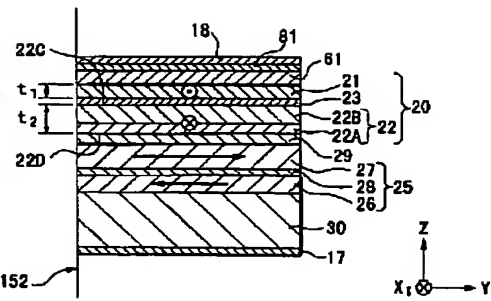
【図 1 1】



【图 12】

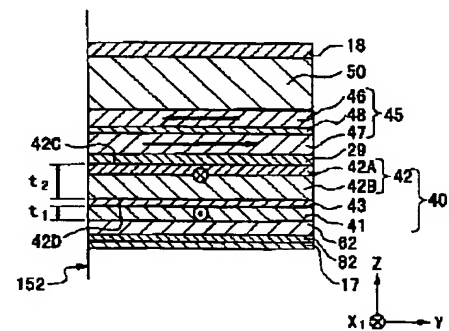


【図 15】



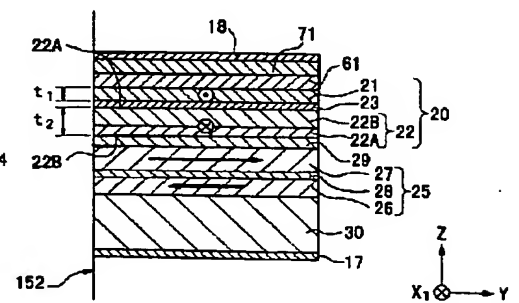
【図 17】

【図 19】

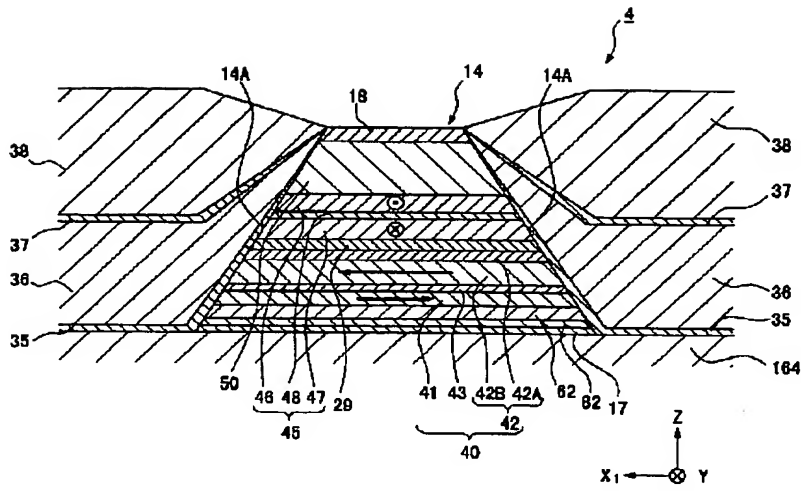


【図 16】

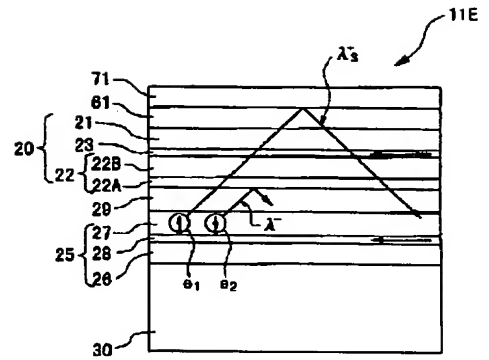
【図 2 1】



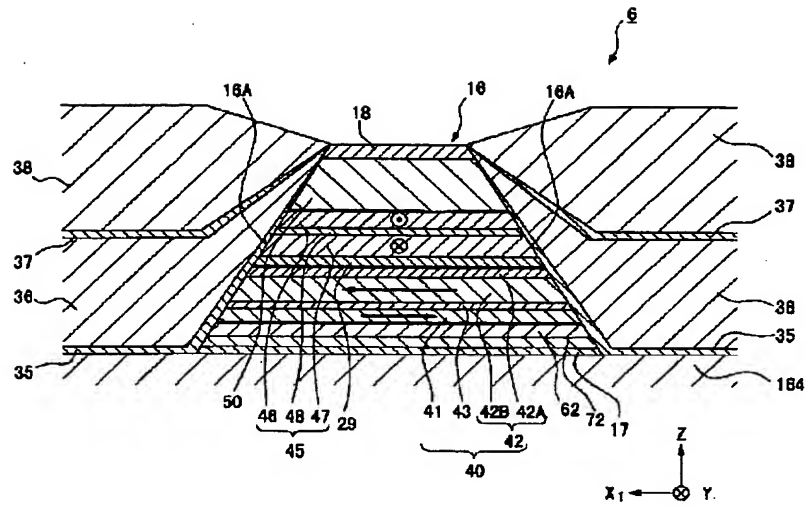
【図 18】



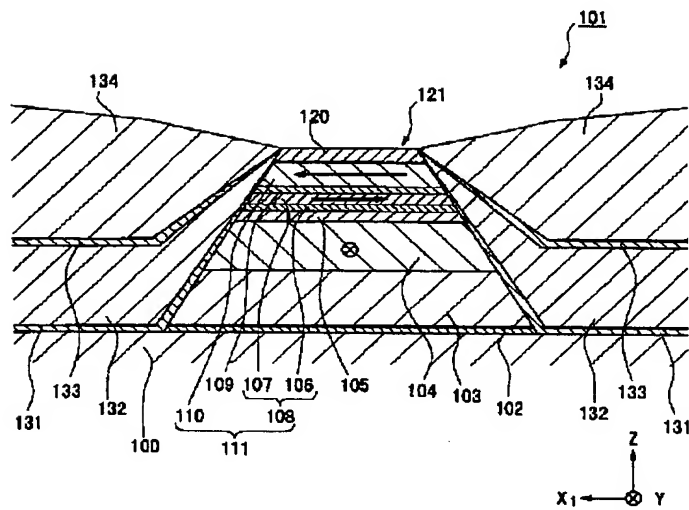
【図 22】



【図 23】



【図 25】



フロントページの続き

(72)発明者 井出 洋介
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプ
ス電気株式会社内
(72)発明者 長谷川 直也
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプ
ス電気株式会社内
(72)発明者 柿原 芳彦
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプ
ス電気株式会社内

(72)発明者 本田 賢治
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプ
ス電気株式会社内
Fターム(参考) 2G017 AA01 AD43 AD55 AD65 BA05
CB24
5D034 BA04 BA05 BA09 CA04
5E049 AA04 AA07 AA09 AC00 AC05
BA12 CB02 CC01 DB12